

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Diseño e implementación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico

Autor: Juan Pérez González

Tutor: Jesús Racero Moreno

**Dep. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas I**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Diseño e implementación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico

Autor:
Juan Pérez González

Tutor:
Jesús Racero Moreno
Profesor titular

Dep. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Máster: Diseño e implementación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico

Autor: Juan Pérez González

Tutor: Jesús Racero Moreno

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

Índice general

Índice general	VII
Índice de figuras	XIII
Agradecimientos	IX
Prólogo	XI
1. Introducción y objetivos	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Ingeniería secuencial y concurrente	1
1.1.1.1. Ciclo de vida del producto	3
1.1.1.2. Modelos de diseño del producto	3
1.1.1.3. Arquitectura del producto	4
1.1.1.4. Flujo de información en el proceso de diseño	4
1.1.2. Product Lifecycle Management	4
1.2. Objetivos	6
2. Revisión de la literatura	9
2.1. Motivos del nacimiento de PLM	9
2.2. Sistemas PLM	9
2.2.1. Fases del PLM	11
2.2.2. Funciones de un sistema PLM	13

2.3. Software PLM	14
2.4. Digital MockUp	15
2.5. Estructura de productos, procesos y recursos	17
3. Metodología para el diseño de la estructura de fabricación	19
3.1. Configuración Inicial	19
3.2. Desarrollo de un proyecto	20
3.2.1. Fases del proyecto	21
3.2.1.1. Gestión de requisitos	21
3.2.1.2. Diseño	22
3.2.1.3. Programación	22
3.2.1.4. Servicio	22
3.2.1.5. Verificación	22
3.2.2. Equipos de trabajo	22
3.2.3. Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto	23
3.2.4. Creación de lista de materiales	23
3.2.5. Estructura de fabricación	23
3.2.5.1. Estructura de productos	24
3.2.5.2. Estructura de procesos	24
3.2.5.3. Estructura de recursos	25
3.2.6. Simulaciones	27
4. Plataforma 3DEXPERIENCE	29
4.1. Introducción	29
4.2. Evolución de la plataforma	30
4.3. Capacidades de 3DEXPERIENCE	31
4.4. Interfaces de la plataforma	32
4.4.1. Diseño o Ingeniería	32

4.4.2. Simulaciones	32
4.4.3. Fabricación o Producción	33
4.4.4. Gestión del ciclo de vida	33
5. Descripción general de la aplicación	35
5.1. Introducción	35
5.2. Implantación	35
5.2.1. Definición de la compañía y de su líder	36
5.2.2. Definición del programa	37
5.2.3. Definición de la plantilla de proyecto	38
5.2.3.1. Definición de la pregunta selectiva	39
5.2.3.2. Definición de marcadores	39
5.2.3.3. Definición de la estructura de desglose del trabajo	40
5.2.3.4. Definición de la carpeta de documentación	41
5.2.4. Definición de los proyectos	41
6. Implantación al proyecto 6745-H	43
6.1. Definición del producto	43
6.1.1. 6745-H-B	46
6.1.2. 6745-H-R4	47
6.1.3. 6745-H-BA	48
6.1.4. 6745-H-R4A	49
6.2. Fase de gestión de requisitos	50
6.3. Estructura de diseño	54
6.4. Equipos de trabajo	56
6.5. Creación de los productos físicos	57
6.6. Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto	60
6.7. Creación de la lista de materiales	60

6.7.1.	Lista de materiales del rotor principal	60
6.7.2.	Lista de materiales del rotor secundario	61
6.7.3.	Lista de materiales de la Cabina	62
6.7.4.	Lista de materiales del fuselaje base	63
6.7.5.	Lista de materiales del fuselaje medio	64
6.7.6.	Lista de materiales del fuselaje cola	70
6.8.	Estructura de fabricación	71
6.8.1.	Fases del fuselaje medio	77
6.8.2.	Fases del fuselaje base	79
6.8.3.	Fases del fuselaje cola	80
6.8.4.	Fases del rotor secundario	81
6.8.5.	Fases de la cabina	82
6.8.6.	Fases del rotor principal	82
6.8.7.	Fases del fuselaje final	83
6.8.7.1.	Estructura de productos	83
6.8.7.2.	Estructura de procesos	85
6.8.7.3.	Estructura de recursos	94
6.9.	Simulación de montaje	95
6.9.1.	Estación 1	96
6.9.2.	Estación 2	97
6.9.3.	Estación 3	98
6.9.4.	Estación 4	98
6.9.5.	Estación 5	99
6.9.6.	Estación 6	99
6.9.7.	Estación 7	100
6.9.8.	Estación 8	100
6.9.9.	Estación 9	100

6.9.10. Estación 10	101
7. Conclusiones y extensiones	103
A. Configuración del entorno	105
B. Desarrollo de un proyecto	113
C. Ensamblado en Catia V5 del producto	129
Bibliografía	135

Índice de figuras

1.1. Metodología secuencial	1
1.2. Metodología concurrente	2
1.3. Comparativa entre ambas metodologías	2
1.4. Ciclo de vida del producto	3
1.5. Pilares de la infraestructura de tecnologías de la información	5
1.6. Importancia de cada pilar en función del tiempo	6
2.1. Beneficios de aplicar PLM	10
2.2. Ejemplo de maqueta digital	16
3.1. Ejemplo de una estructura de producto	24
3.2. Tipos de recursos	26
3.3. Ejemplo de una estructura de procesos junto con sus recursos	26
4.1. Evolución de la plataforma	29
4.2. Catia V5	30
4.3. Catia V6	30
4.4. 3DEXPERIENCE	31
4.5. Botones principales de la herramienta	31
4.6. Funcionalidades principales	32
5.1. Usuario líder de la compañía y del programa	36
5.2. Compañía	37

5.3. Proyectos del programa 6745	38
5.4. Información del programa 6745	38
5.5. Información de la plantilla	39
5.6. Pregunta selectiva	39
5.7. Marcador	40
5.8. Estructura de desglose del trabajo	40
5.9. Tareas de la fase de gestión de requisitos	41
5.10. Documentación de los proyectos	41
5.11. Proyectos del programa 6745	42
6.1. Configuraciones del producto 6745-H	44
6.2. Estructura base	45
6.3. Vista 1	46
6.4. Vista 2	46
6.5. Vista 1	47
6.6. Vista 2	47
6.7. Vista 1	48
6.8. Vista 2	48
6.9. Vista 1	49
6.10. Vista 2	49
6.11. Estructura de la fase de diseño	54
6.12. Estructura de equipos de trabajo	56
6.13. Listado del personal del proyecto	57
6.14. Creación de la pieza	58
6.15. Propiedades de la pieza	58
6.16. Creación del producto físico	59
6.17. Asociación del componente al producto físico	59

6.18. Rotor principal	60
6.19. Lista de materiales del rotor principal	61
6.20. Rotor secundario	61
6.21. Lista de materiales del rotor secundario	62
6.22. Cabina	62
6.23. Lista de materiales de la cabina	63
6.24. Fuselaje base	63
6.25. Lista de materiales del fuselaje base	64
6.26. Fuselaje medio	64
6.27. Lista de materiales del fuselaje medio	65
6.28. Lista de materiales del fuselaje medio	65
6.29. Lista de materiales del fuselaje medio	66
6.30. Lista de materiales del fuselaje medio	66
6.31. Lista de materiales del fuselaje medio	67
6.32. Lista de materiales del fuselaje medio	67
6.33. Lista de materiales del fuselaje medio	68
6.34. Lista de materiales del fuselaje medio	68
6.35. Lista de materiales del fuselaje medio	69
6.36. Lista de materiales del fuselaje medio	69
6.37. Fuselaje cola	70
6.38. Lista de materiales del fuselaje cola	70
6.39. Lista de materiales del fuselaje cola	71
6.40. Etapas de fabricación del fuselaje medio	79
6.41. Etapas de fabricación del fuselaje base	79
6.42. Integración de los fuselajes medio y base	80
6.43. Etapas de fabricación del fuselaje cola	81
6.44. Etapas de fabricación del rotor secundario	81

6.45. Etapa de integración de la cola y el rotor secundario	82
6.46. Etapas de fabricación de la cabina	82
6.47. Etapas de fabricación del rotor principal	83
6.48. Estructura de productos	84
6.49. Estructura de productos visualizado en 3DEXPERIENCE	84
6.50. Ejemplo de un grupo de componentes	85
6.51. Estaciones de la línea de ensamblado	86
6.52. Estación 1	86
6.53. Diagrama de Gantt de la estación 1	87
6.54. Estación 2	87
6.55. Diagrama de Gantt de la estación 2	87
6.56. Estación 3	88
6.57. Diagrama de Gantt de la estación 3	88
6.58. Estación 4	89
6.59. Diagrama de Gantt de la estación 4	89
6.60. Estación 5	89
6.61. Diagrama de Gantt de la estación 5	90
6.62. Estación 6	90
6.63. Diagrama de Gantt de la estación 6	90
6.64. Estación 7	91
6.65. Diagrama de Gantt de la estación 7	91
6.66. Estación 8	92
6.67. Diagrama de Gantt de la estación 8	92
6.68. Estación 9	92
6.69. Diagrama de Gantt de la estación 9	93
6.70. Estación 10	93
6.71. Diagrama de Gantt de la estación 10	93

6.72. Estructura de recursos	95
6.73. Producto sujeto a simulación	96
6.74. Integración del fuselaje base con el fuselaje medio	96
6.75. Trayectorias de ensamblado de la estación 2	97
6.76. Trayectorias de ensamblado de la estación 3	98
6.77. Integración del conjunto de cola con el fuselaje	98
6.78. Trayectorias de ensamblado de la estación 5	99
6.79. Trayectorias de ensamblado de la estación 6	99
6.80. Integración de la cabina con el fuselaje	100
6.81. Integración del complemento de cabina	100
6.82. Integración del rotor principal con el fuselaje	100
6.83. Integración del fijador del rotor principal	101
6.84. Componentes a ensamblar en la línea de fabricación final	101
6.85. Trayectorias de ensamblado	102
A.1. Inicio de sesión con el usuario administrador	105
A.2. Creación del líder de la compañía. Paso 1	106
A.3. Creación del líder de la compañía. Paso 2	106
A.4. Creación de una compañía. Paso 1	107
A.5. Creación de una compañía. Paso 2	107
A.6. Creación de una compañía. Paso 3	107
A.7. Creación de un programa. Paso 1	108
A.8. Creación de un programa. Paso 2	108
A.9. Creación de una plantilla de proyecto. Paso 1	109
A.10. Creación de una plantilla de proyecto. Paso 2	109
A.11. Creación de una plantilla de proyecto. Paso 3	110
A.12. Creación de una plantilla de proyecto. Paso 4	110

A.13.Creación de un proyecto. Paso 1	111
A.14.Creación de un proyecto. Paso 2	111
A.15.Creación de un proyecto. Paso 3	111
A.16.Creación de un proyecto. Paso 4	111
A.17.Creación de un proyecto. Paso 5	112
 B.1. Base del proyecto	 113
B.2. Asignación de personal a una fase	114
B.3. Creación de tareas. Paso 1	114
B.4. Creación de tareas. Paso 2	115
B.5. Introducción de productos finales. Paso 1	116
B.6. Introducción de productos finales. Paso 2	116
B.7. Creación de la estructura PPR. Paso 1	117
B.8. Creación de la estructura PPR. Paso 2	117
B.9. Creación de la estructura PPR. Paso 3	117
B.10.Creación de la estructura PPR. Paso 4	118
B.11.Creación de la estructura PPR. Paso 5	118
B.12.Creación de la estructura PPR. Paso 6	119
B.13.Creación de la estructura PPR. Paso 7	119
B.14.Creación de la estructura PPR. Paso 8	120
B.15.Creación de la estructura PPR. Paso 9	120
B.16.Creación de la estructura PPR. Paso 10	121
B.17.Creación de la estructura PPR. Paso 11	121
B.18.Creación de la estructura PPR. Paso 12	122
B.19.Creación de la estructura PPR. Paso 13	122
B.20.Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 1	123
B.21.Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 2	123

B.22.Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 3	124
B.23.Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 4	124
B.24.Creación de la simulación completa. Paso 1	125
B.25.Creación de la simulación completa. Paso 2	125
B.26.Creación de la simulación completa. Paso 3	125
B.27.Creación de la simulación completa. Paso 4	126
B.28.Creación de la simulación completa. Paso 5	126
B.29.Creación de la simulación completa. Paso 6	127
C.1. Entorno Catia V5	129
C.2. Módulo Assembly Design	129
C.3. Propiedades del conjunto	130
C.4. Insertar un componente	130
C.5. Primer componente	131
C.6. Tipos de restricciones	131
C.7. Módulo Part Design	132
C.8. Entorno Part Design	132
C.9. Ejemplo de pieza diseñada	133
C.10.Ejemplo de pieza diseñada	133
C.11.Ejemplo de pieza diseñada	133

Agradecimientos

En este punto, me gustaría dar las gracias a todas esas personas que han contribuido directa o indirectamente en este proyecto.

En primer lugar quiero agradecer a Jesús Racero Moreno su trato conmigo, su guía y supervisión a lo largo de todos estos meses, ya que me han permitido conseguir los objetivos iniciales de los que partía.

También quiero expresar mi gratitud a todos los miembros de mi familia, especialmente a mi madre, padre y abuelo. Todos ellos han contribuido a su manera para obtener el resultado mostrado en estas páginas.

Por último recordar a mi hermano y a mis amigos, Miguel Ángel y Juan Francisco, porque gracias a ellos todo es siempre más fácil.

Gracias a todos.

Prólogo

Este proyecto se estructura en siete capítulos. En el primero de ellos, se realiza una introducción teórica comparando la ingeniería secuencial y concurrente y una descripción breve de la gestión del ciclo de vida de un producto (PLM). Por último, también se recogen los principales objetivos establecidos para el proyecto.

El segundo capítulo recoge una revisión de la literatura en cuanto a sistemas PLM, analizando sus fases, funciones y tipos de software. En este capítulo también se selecciona la herramienta más adecuada para cumplir los objetivos. Por último, se trata el concepto de maqueta digital (DMU) y una breve revisión del estado del arte de la estructura de productos, procesos y recursos (PPR).

Tras esto, se desarrolla la metodología a seguir para llegar al diseño de la estructura de fabricación de un producto. Esta metodología se desarrolla de manera teórica y cualitativa.

En el cuarto capítulo, se introduce la herramienta software que se va a emplear para el desarrollo del proyecto. También se describen las capacidades principales y las interfaces que posee.

Una vez descrita la herramienta a utilizar, se procede a su configuración inicial, necesaria para enmarcar al proyecto en cuestión.

El capítulo sexto recoge el desarrollo completo del proyecto sujeto a estudio, desde la fase de gestión de requisitos hasta la simulaciones del proceso de fabricación.

En el último capítulo, se comentan las conclusiones principales extraídas y las posibles vías de estudio futuras.

Por último, se han desarrollado tres anexos. Los anexos A y B tienen el objetivo de recoger los pasos seguidos en la herramienta para conseguir los resultados mostrados en los capítulos 5 y 6. Por su parte, el anexo C trata el procedimiento seguido en la plataforma Catia V5.

Capítulo 1

Introducción y objetivos

En este capítulo se procede, en primer lugar, a comentar las principales características de la ingeniería secuencial y concurrente y sus principales diferencias. Tras esto, se realiza una breve introducción a PLM y sus aspectos más relevantes. Por último, se tratan los objetivos establecidos para el proyecto en cuestión.

1.1. Introducción

1.1.1. Ingeniería secuencial y concurrente

Hasta los años ochenta, cuando surge el término ingeniería concurrente, se hacía uso de una ingeniería de tipo secuencial o convencional. Esta ingeniería utiliza un desarrollo de producto conocido como *Comunicación sobre la pared*. En este enfoque cada área de la empresa, después de ejecutar la parte que le corresponde, transfiere su resultado al sector siguiente y queda a la espera, es decir, cada fase del proceso se desarrolla de forma consecutiva.

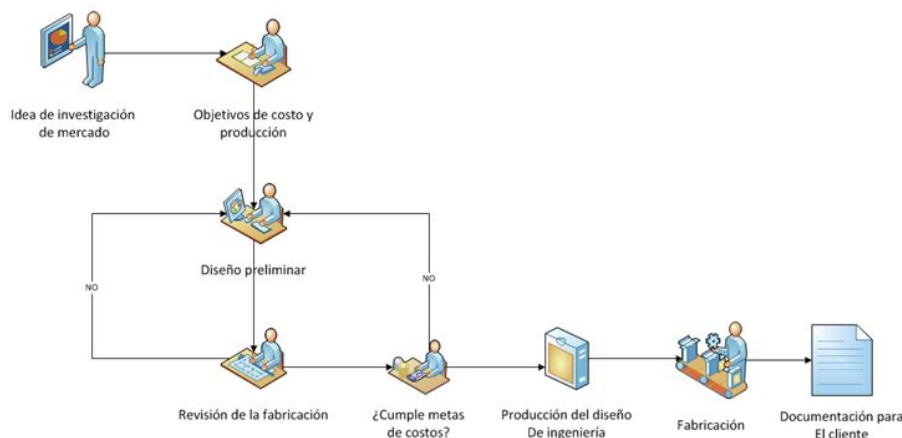


Figura 1.1: Metodología secuencial

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Mediante esta metodología, quienes reciben los resultados de la etapa anterior indudablemente encontrarán fallos según la perspectiva de su propia especialidad y por tanto se tendrá que volver al sector origen para los ajustes correspondientes.

Con el objetivo de reducir costes y tiempo en el desarrollo de un producto surge una nueva metodología, la ingeniería concurrente. Este enfoque se basa en el trabajo convergente de las diferentes etapas y exige que se invierta más tiempo en la definición detallada del producto y en la planificación. Así, la mayoría de errores se solucionan en las primeras fases, mucho antes de que salga el prototipo o las muestras de producción, lo que implica una reducción considerable en los costes. Aunque bajo este enfoque, en las primeras fases el tiempo se incrementa respecto a la metodología anterior, se ha demostrado que el tiempo total del desarrollo del producto disminuye [6].

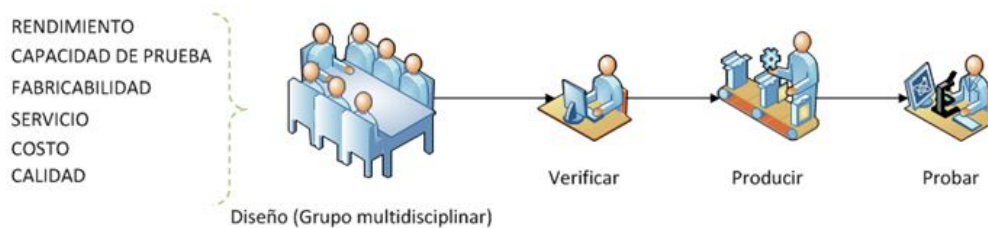
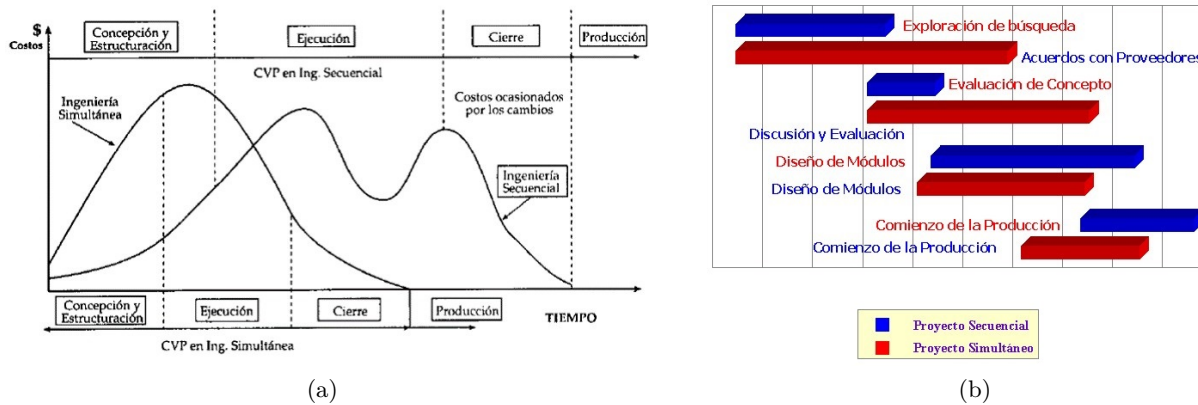


Figura 1.2: Metodología concurrente



(a)

(b)

Figura 1.3: Comparativa entre ambas metodologías

Dentro de las características de la ingeniería concurrente, se encuentran cuatro fundamentos principales:

- El concepto de Ciclo de Vida.
- Modelos del proceso de diseño.
- Arquitectura del producto.
- Flujo de información en el proceso de diseño.

1.1.1.1. Ciclo de vida del producto

El ciclo de vida de un producto es el conjunto de fases por las que pasa este elemento, destinado a satisfacer una necesidad, desde que es creado hasta el fin de su vida útil. Las fases principales son las siguientes:

- Diseño conceptual y preliminar.
- Diseño de detalle y desarrollo.
- Producción y/o construcción.
- Uso del producto.
- Fin de vida útil y retirada.



Figura 1.4: Ciclo de vida del producto

Según los principios de la ingeniería concurrente, se recomienda poner mayor énfasis en las etapas de definición y diseño ya que es ahí donde se pueden lograr los mayores ahorros. Una vez que se llega a la etapa de fabricación la reducción en costes es prácticamente ínfima.

1.1.1.2. Modelos de diseño del producto

Existen múltiples modelos de diseño que pueden manejarse en la ingeniería concurrente, sin embargo, se identifican a grandes rasgos dos tipos de modelos de diseño:

- Modelo del ciclo básico de diseño. Constituido por las fases de análisis, síntesis, simulación y evaluación.
- Modelo de etapas. Formado por las etapas de ideación, desarrollo conceptual y básico, desarrollo avanzado y lanzamiento.

1.1.1.3. Arquitectura del producto

La arquitectura de un producto se concreta a través del establecimiento de las reglas de diseño, entre las que cabe destacar:

- Definición de los módulos. Los módulos son partes de un producto delimitado a través de la información asociada.
- Interfaces. Son superficies (reales o virtuales) entre los módulos y el exterior.
- Plataformas. Son conjuntos de recursos compartidos entre varios productos.

1.1.1.4. Flujo de información en el proceso de diseño

Dentro del entorno de Ingeniería de diseño las necesidades se deben obtener de todos los miembros relacionados con el proyecto/producto, y para todos ellos se deberían satisfacer. En las metodologías de diseño las necesidades se conocen como requerimientos del cliente o usuario y son el punto de partida en el proceso de diseño.

1.1.2. Product Lifecycle Management

Un sistema PLM (Product Lifecycle Management) es una solución informática empresarial que permite implementar una estrategia de gestión de toda la información relacionada con el producto desde la idea inicial, siguiendo por su diseño y fabricación hasta su servicio y posterior retirada.

Es necesario remarcar que PLM no es tanto una tecnología o sistema informático como una estrategia que saca provecho de esta tecnología, en la que los procesos son tan importantes como los datos del producto.

Hoy en día, existen gran cantidad de empresas con problemas de intercambio de información, comunicación u organización, provocados por unos procesos secuenciales, fragmentados, basados en papeles y archivos desperdigados con mucha intervención manual. Los sistemas PLM integran todas las áreas de información, personas y procesos relacionados con el ciclo del vida del producto en análisis.

Sin PLM, los lanzamientos de nuevos productos son lentos, consumidores de recursos, tienen poca visibilidad global y son difíciles de dirigir y controlar.

Estos sistemas son válidos para cualquier empresa independientemente del tamaño, ámbito de desarrollo (nacional o internacional) y sector. Las primeras empresas en aplicar esta estrategia fueron, en la década de los 80, las pertenecientes a la industria automovilística y aviación. Tras observarse los primeros resultados obtenidos, entre los que destacan: reducción de costes y tiempo para crear un producto nuevo, mejor organización de recursos (personal, maquinaria, documentación, etc.), reducción de riesgos y rentabilidad económica entre otros, se extendió a todos los sectores sin excepción [5].

En definitiva, esta estrategia junto con los otros tres pilares de la infraestructura de tecnologías de la información de una determinada compañía (CRM, SCM y ERP) suponen un claro ejemplo

de aplicación de ingeniería concurrente. A continuación se definen los tres pilares complementarios anteriormente mencionados.

- CRM (Customer Relationship Management). Para administrar las relaciones comerciales con los clientes de la empresa. Permite almacenar información de todos y cada uno de los contactos con nuestros clientes y con su entorno. Además de contener todos los detalles de los clientes también recoge consejos o pautas para futuros contactos con los mismos.
- SCM (Supply Chain Management). Son los procesos empresariales en torno a la logística y servicio al cliente: compras, aprovisionamiento, producción, almacenamiento, preparación, distribución y postventa. Contribuye a la coordinación y optimización de procesos empresariales y transacciones comerciales tanto en el seno de una compañía como entre distintas empresas.
- ERP (Enterprise Resource Planning). Es un sistema de información integral que incorpora los procesos operativos y de negocio de una empresa, por ejemplo: producción, ventas, compras, logística, contabilidad, gestión de proyectos, inventarios y control de almacenes, pedidos, nóminas, entre otros.



Figura 1.5: Pilares de la infraestructura de tecnologías de la información

Por último, se muestra un gráfico donde se recoge la importancia de cada uno de estos pilares a lo largo del ciclo de vida del producto.

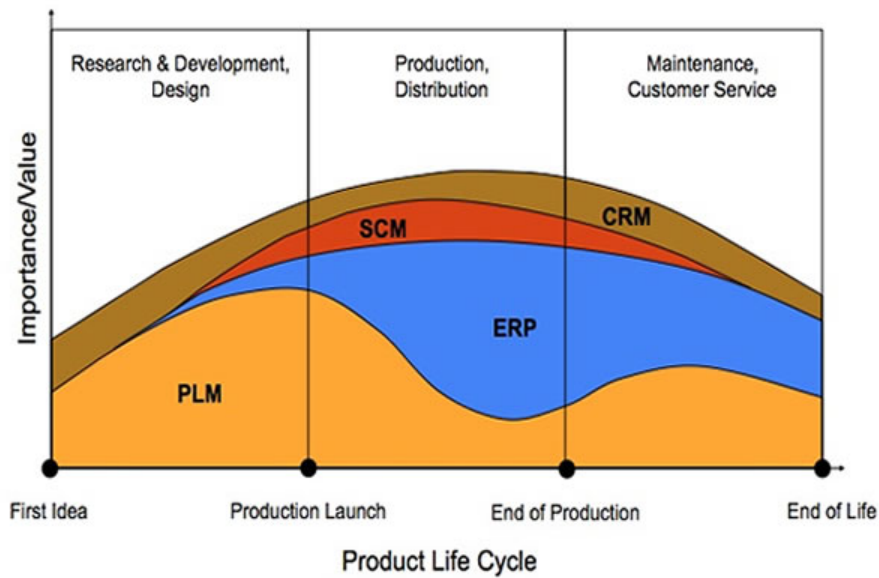


Figura 1.6: Importancia de cada pilar en función del tiempo

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el diseño e implantación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico. Para ello, se analiza un producto desde la captura de sus requisitos hasta su fabricación.

Para alcanzar este objetivo es necesario la consecución de los siguientes objetivos parciales:

- Entender la estrategia PLM, sus fases, características y funciones generales.
- Revisar y estudiar los distintos software PLM que existen en la actualidad.
- Selección de la herramienta más adecuada para la realización del proyecto.
- Estudio de las funcionalidades del software seleccionado.
- Implantación de un sistema PLM mediante aplicación práctica.

En primer lugar, se analizan los motivos del nacimiento de PLM, la filosofía que conlleva esta estrategia y las ventajas generales que proporciona. Tras esto, se desarrollan las fases y funciones principales.

Una vez que se han estudiado los conceptos más teóricos, se procede al análisis del software existente, que se realiza para determinar la herramienta que se ajusta más adecuadamente a las pretensiones de este proyecto. Una vez determinada esta herramienta se estudia la aplicación de todas las funcionalidades que tiene incorporada.

Por último, para alcanzar el objetivo principal, se desarrollan en la herramienta PLM los siguientes conceptos:

- Gestión de programas.
- Gestión de proyectos.
- Gestión de equipos de trabajo y roles.
- Estructura para la fabricación (productos, procesos, operaciones y recursos).
- Simulaciones.

Capítulo 2

Revisión de la literatura

En este capítulo se va a analizar de forma más profunda los sistemas PLM. En primer lugar, se recogen los principales motivos del nacimiento del PLM. Tras esto, se detallan sus principales características, funciones y fases. Posteriormente, se procede a estudiar las herramientas software existentes para implantar esta estrategia y a seleccionar la más idónea para cumplir los objetivos de este proyecto. Por último, se introduce el concepto *Digital MockUp* (DMU) y un breve análisis del estado del arte de la estructura *PPR*.

2.1. Motivos del nacimiento de PLM

Los motivos principales del nacimiento de la estrategia PLM son los siguientes [3]:

- Falta de una gestión formal de los requisitos.
- Inadecuada gestión, con lanzamientos o retirada prematuros.
- Falta de un prototipado rápido y desarrollado virtual de los productos.
- Imposibilidad de realizar una colaboración en tiempo real en todo el ciclo de vida.
- Complejidad para gestionar los cambios.
- Pobre contemplación de la cadena de suministro en la vida del producto.

2.2. Sistemas PLM

En un sistema PLM no solo se gestionan componentes, documentos y listas de materiales sino que también engloba resultados de análisis, especificaciones de pruebas, información sobre el rendimiento del producto, proveedores, etc. Por tanto, permite a las empresas integrar todos los apartados referentes al producto, mejorando la eficacia y eficiencia en todo el proceso de gestión del ciclo de vida.

Los objetivos fundamentales de estos sistemas son los siguientes:

- Centralizar y organizar todos los datos del producto.
- Gestionar formalmente los proyectos de diseño y desarrollo de productos.
- Integrar los procesos de diseño con los de industrialización y producción.

Por tanto, este sistema permite tener bajo control y optimizar todos los procesos relacionados con el diseño y lanzamiento a producción de un nuevo producto, así como los futuros cambios durante su vida útil.

El PLM contribuye a mejorar substancialmente la innovación del producto, los procesos de desarrollo y los de ingeniería y, como consecuencia, aumentar las ventas y reducir el coste del producto. Por otro lado, consolida y facilita el acceso al conocimiento, ya que toda la información de los productos y procesos queda almacenada en un sistema que está siempre a disposición de todas las personas [5].

Los resultados de aplicar esta estrategia son los siguientes:

- Productos más innovadores.
- Calidad superior.
- Cumplimiento de normativas.
- La salida a mercado de los productos se acorta notablemente.
- Costes de desarrollo reducidos.
- Incremento de los ingresos.

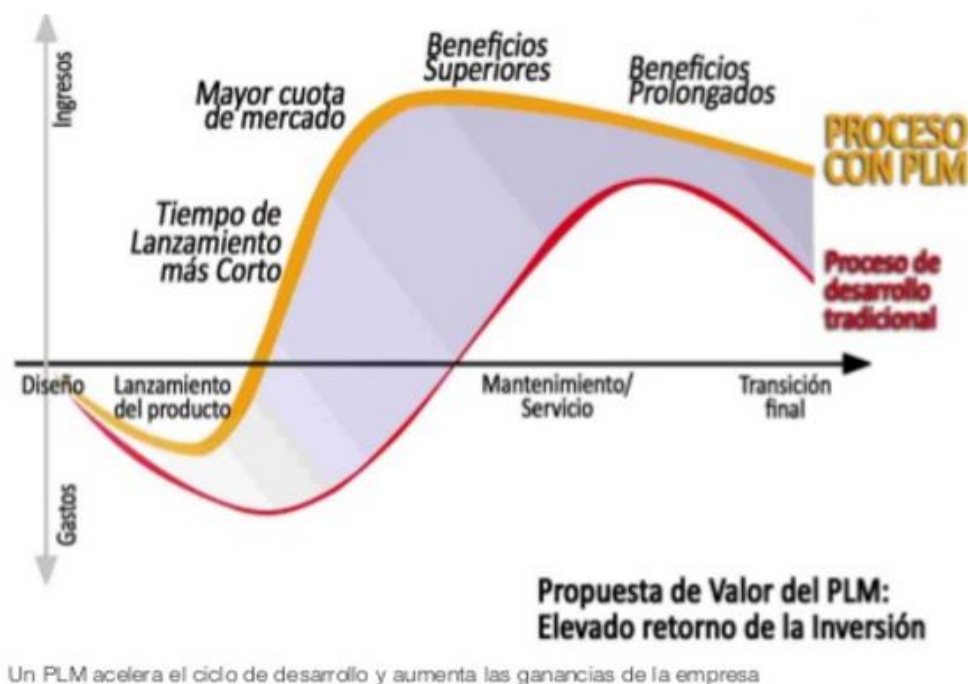


Figura 2.1: Beneficios de aplicar PLM

2.2.1. Fases del PLM

A continuación se recogen las fases de la gestión del ciclo de vida de un producto aeronáutico. En cada una de ellas se recogen las actividades principales, así como los resultados [3].

■ Definición estratégica.

Actividades:

- Analizar y procesar la información disponible.
- Documentar las necesidades y al tipo de usuario al que se dirige.
- Confeccionar el equipo de trabajo.
- Desarrollar el plan estratégico.

Resultados:

- Plan estratégico.
- Listado de requisitos, condicionantes y cuantificables.
- Plan de trabajo y cronograma tentativo.
- Responsables.
- Estimación presupuestaria.

■ Diseño del concepto.

Actividades:

- Generar la descripción del concepto desarrollado.
- Características y parámetros generales.
- Tecnología a utilizar y morfología del producto.
- Fijar criterios para la revisión y evaluación del concepto a lo largo de la vida del producto.
- Valorar las características o requisitos de los usuarios.

Resultados:

- Pliego de condiciones del concepto donde se describa la tecnología, funcionamiento y forma del producto, responsables y manera de satisfacer los requisitos impuestos por el cliente.

■ Diseño en detalle.

Actividades:

- Definir materiales y proceso de fabricación.
- Fabricación de cada una de las partes.
- Procesos de ensamblaje y subconjuntos.
- Definir recursos internos y subcontratados.
- Definir la cadena de distribución, logística y canales comerciales.
- Fijar tiempos, recursos y fondos para la fase de desarrollo.

Resultados:

- Documentación técnica detallada del producto, memoria técnica, planos de conjunto y despiece, plantas y secciones.
- Cronograma ajustado.
- Costes, inversiones y recursos necesarios.

■ **Verificación y testeo.**

Actividades:

- Comprobar que se cumplan todas las características conceptuales.
- Comprobar el cumplimiento de las especificaciones.
- Realizar ensayos.
- Facilitar el paso de la fase de diseño a la fase de industrialización y producción.

Resultados:

- Verificación del diseño en condiciones de uso lo más realistas posibles.
- Propuesta ajustada, con planos de fabricación.

■ **Producción.**

Actividades:

- Organizar, montar y documentar las necesidades técnicas de producción.
- Producción y distribución del producto.
- Establecer los medios con los que se va a fabricar.
- Sucesión de actividades, optimizando medios productivos y tiempo.
- Definición de responsables.
- Sofisticar las especificaciones a proveedores.

Resultados:

- Validación del montaje.
- Trazabilidad del producto.
- Puesta en marcha de la maquinaria.
- Pre-serie de fabricación.

■ **Mercado.**

Actividades:

- Garantizar la formación del servicio técnico.
- Monitorización, control y modificación del producto.

Resultados:

- Identificación de problemas y acciones correctivas.

■ **Disposición final**

Actividades:

- Verificar que el producto impacte de forma mínima en el medio ambiente.
- Provisión de repuesto.
- Reciclado del producto.

Resultados:

- Desmontaje y separación para reutilizar.
- Posibilidad de uso secundario del producto.
- Recomendaciones para mejorar el producto actual o futuro.

2.2.2. Funciones de un sistema PLM

A continuación, se recogen las funciones principales que incorpora un sistema PLM [5].

- Almacenar, organizar y proteger datos.

Este sistema recoge todos los datos que tienen relación con el producto en un único servidor. Organiza todos los documentos y archivos atendiendo a criterios de proyectos, productos, clientes, entre otros.

- Gestionar documentos y sus cambios.

Permite entre otras funciones, grabar documentos en la base de datos, crear distintas versiones y validarlas. Por documentos se entiende cualquier componente creado con una aplicación informática como por ejemplo, cualquier texto de ofimática o un modelo CAD.

Por otro lado, la gestión de cambios permite la trazabilidad de la historia de los documentos. Estos pasan por diferentes etapas en su ciclo de vida (borrador, revisado, aprobado y obsoleto). También permite guardar todas las versiones y su historial, así como los detalles de los cambios (quién, cuándo y porqué).

- Buscar y recuperar la información.

Los usuarios disponen de potentes mecanismos que permiten encontrar instantáneamente cualquier documento o conjunto de los mismos. Una vez encontrado se puede conocer toda la estructura de información relacionada con este. Por ejemplo, a partir de una pieza encontrar a las personas encargadas de su diseño y fabricación.

- Compartir datos con los usuarios de forma controlada.

Se permite el acceso a un mismo elemento o documento de manera simultánea evitando el riesgo de sobrescribirlo.

- Ejecutar procesos y flujos de trabajo.

Los sistemas PLM ayudan a ejecutar y controlar los diferentes procesos que los usuarios tienen que hacer con la información. Permiten definir fácilmente y de forma gráfica un flujo de trabajo, indicando las tareas a realizar, las personas implicadas en ellas y las reglas a cumplir.

- Visualizar datos y documentos.

En un sistema PLM se puede visualizar cualquier documento sin que el usuario tenga instalada la aplicación que se usó para crearlo. Por otro lado, no se permite la manipulación de estos pero sí la posibilidad de definir comentarios para poder opinar sobre el contenido.

- Crear, clasificar y gestionar artículos.

Es una aplicación muy importante, ya que no solo hace falta dirigir y controlar documentos, sino que estos tienen que estar vinculados con los productos físicos a los que hacen referencia. Estas relaciones se mantienen cuando el artículo se utiliza en un nuevo proyecto o estructura, de manera que la estructura documental y la de producto están siempre en sincronía. Esta es una característica que diferencia claramente los sistemas PLM de los sistemas de gestión documental, los cuales, no gestionan productos físicos.

- Crear estructuras y listas de materiales.

Una vez creados los artículos, los sistemas PLM permiten que los usuarios de ingeniería los relacionen entre ellos, constituyendo la estructura jerárquica de producto. Esta estructura puede contener ítems de todo tipo: mecánicos, eléctricos, electrónicos o software. También se pueden crear estructuras con opciones y variantes según criterios de configuración. Por ejemplo, una interrogación para determinar la utilización o no de un determinado artículo o grupo. Por último, se pueden generar todo tipo de informes como la lista de materiales.

- Integrar la información de ingeniería con otros sistemas y procesos informáticos empresariales.

Los sistemas PLM ofrecen funciones de exportación de la información generada para que sea utilizada por los otros sistemas de la empresa. La funcionalidad más importante es la de transferir de manera automática los productos físicos, estructuras y listas de materiales al sistema de gestión para hacerlas accesibles a los departamentos de logística y producción. Sin PLM, este proceso se tiene que realizar de manera manual y no aporta ningún valor añadido, lo que implica pérdida de eficacia y eficiencia global.

- Gestionar proyectos de diseño y desarrollo de productos.

Los sistemas PLM ofrecen funciones específicas para gestionar proyectos o conjuntos de proyectos (programas). Se pueden dirigir y controlar los recursos (maquinaria, equipos de trabajo o materias primas, entre otros), las tareas, los costes, los tiempos y los entregables.

2.3. Software PLM

Los Software PLM gestionan todos los datos necesarios y generados durante el desarrollo del producto, desde la fase inicial hasta la fabricación. En general, integran datos y documentos, sistemas de negocio y personas involucradas en el proceso de creación de producto. Esto permite a los usuarios seguir automáticamente y en tiempo real todos los cambios producidos en el producto durante su desarrollo.

Las empresas emplean dichos software para incrementar la productividad y colaboración, mejorar la calidad, reforzar la creatividad y acortar tiempos de lanzamiento al mercado de los productos. A menudo se integran con gran variedad de herramientas informáticas, como por ejemplo aplicaciones CAD.

Las primeras herramientas tenían el objetivo inicial de solucionar la problemática de gestión de datos de diseño (PDM, Product Data Management) y con los años han evolucionado en funcionalidad y prestaciones hasta convertirse en potentes sistemas PLM. Entre estos se encuentran los productos **Enovia Smarteam** y **Enovia V6** (Dassault Systèmes), **Teamcenter** (Siemens PLM) y **Windchill** (PTC). Ofrecen una funcionalidad modular y pueden crecer a medida que la empresa lo requiera. Casi

todos tienen configuraciones tanto para PYME como para gran empresa. Son productos especialmente adecuados para los sectores de productos discretos y dan muy buen soporte y flexibilidad a los procesos de ingeniería.

Existen otras aplicaciones desarrolladas por los fabricantes de software de gestión ERP. Estas son de aparición más reciente y se ofrecen como módulos de un sistema empresarial integrado. Destacan los productos **SAP PLM**, **Oracle Agile PLM** e **Infor PLM**. Su principal ventaja es la integración natural con los procesos ERP y los logísticos. Su desventaja, en general, es un limitado soporte y poca flexibilidad en el entorno de ingeniería. En general están orientados a corporaciones y grandes empresas, y requieren un esfuerzo importante de implantación. Tienen una superior aceptación en los sectores de consumo, farmacia, alimentación y moda.

En el caso de grandes empresas que necesitan de manera simultánea funcionalidades de ingeniería y de soporte es común la implantación de dos aplicaciones PLM interconectadas y complementarias.

Por otro lado, algunos fabricantes de software de diseño CAD 3D ofrecen también aplicaciones de gestión de los ficheros de CAD, en algunos casos incluidos sin coste adicional. No se pueden considerar propiamente herramientas PLM, debido a que ofrecen una funcionalidad muy limitada en la gestión de productos, estructuras y listas de materiales, flujos de trabajo y capacidades de integración con otras aplicaciones. Entre estos sistemas se encuentran: **Vault** y **ProductStream** (Autodesk), **Insight** (Siemens PLM), **PDM Works** y **PDM Works Enterprise** (Dassault). Estos productos pueden ser una buena alternativa en organizaciones muy pequeñas y con un proceso de producción sencillo. También pueden servir para dar los primeros pasos en la gestión de datos técnicos, aunque una vez llegado a su límite no ofrecen manera fácil de crecer ni de traspasar los datos a sistemas PLM [5].

Por último, se introduce de forma breve la herramienta que se va a emplear en este proyecto, la plataforma V6. Esta aplicación proporciona los medios para que se lleve a cabo todo lo comentado en el apartado anterior. Permite diseñar con CATIA V6, simular con SIMULIA V6, producir o fabricar con DELMIA V6, representar con 3DVIA V6 y realizar la colaboración con ENOVIA V6. En el capítulo 4 se desarrollan las funciones principales de cada módulo.

La principal ventaja que posee V6 es que permite conectar la totalidad de la empresa y a los clientes, permitiendo a estos participar en el proceso de elaboración del producto y obteniendo sus experiencias, requisitos y posibles cambios. Una vez capturados todos estos datos, esta herramienta permite diseñar, simular, producir el producto que finalmente los clientes van a emplear en su vida real. En definitiva, los clientes son un pilar fundamental para el desarrollo e innovación de los productos.

2.4. Digital MockUp

Hasta la década de los 90, la construcción de maquetas físicas o *Hardware Mock-Ups* ha sido una parte fundamental en el desarrollo de cualquier producto complejo. Una maqueta es un modelo físico de un componente, un ensamblado o un producto final. Esta puede ser a tamaño real o escalada de papel, madera o metal. Hay muchas industrias que han usado o continúan usando los prototipos físicos para evaluar y verificar el diseño, entrenar al personal o presentar el producto a los clientes [7].

En la industria Aeronáutica se han empleado usualmente cuatro tipo de maquetas [8]:

- Maqueta de diseño (*Design Mock-Up*). Se emplea en áreas con gran cantidad de sistemas como la

cabina o el encastre del ala. El objetivo es mostrar a los equipos de diseño, clientes y autoridades que se cumplen los requisitos de espacio para la instalación.

- Maqueta de ventas (*Sales Mock-Up*). Usa los equipos reales de cabina en un fuselaje con las dimensiones reales, puertas correctamente posicionadas, etc.
- Maqueta de producción (*Production Mock-Up*). Se utiliza para optimizar técnicas de fabricación y puede ser empleada para ensayos de fabricación.
- Maqueta de ingeniería (*Engineer Mock-Up*). Se requiere para comprobaciones estructurales, instalación de sistemas, ensayos de sistemas, estudios de mantenimiento y para validación por parte de las autoridades.

En la actualidad, el desarrollo de herramientas PLM, que permiten el diseño y modelado virtual del producto, junto con la gestión de toda la documentación pertinente, ha permitido reducir el número de maquetas físicas a realizar.

Una maqueta digital es una representación en 3D del producto en cuestión junto con su estructura de componentes y sus atributos (Figura 2.2).

Las representaciones CAD son únicamente una parte de la maqueta digital. La estructura de componentes describe las dependencias jerárquicas del modelo y su organización. Por su parte, los atributos describen las características y el estado de cada componente.

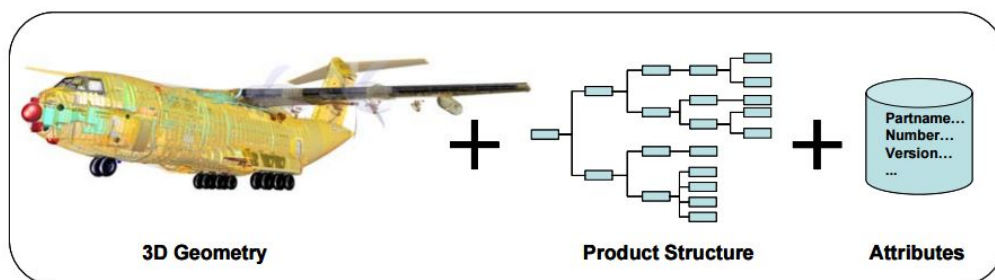


Figura 2.2: Ejemplo de maqueta digital

Para el desarrollo de una maqueta digital los ingenieros de diseño, fabricación y de soporte trabajan de forma conjunta. Uno de los objetivos principales de esta estrategia es permitir a dichos ingenieros diseñar y configurar productos complejos y validar los resultados sin necesidad de realizar un prototipo físico.

Las principales ventajas de este cambio son las siguientes:

- Reducir el tiempo de lanzamiento al mercado mediante la identificación de problemas potenciales en el proceso de diseño.
- Reducir los costes de desarrollo del producto ya que se minimizan el número de prototipos físicos que son necesarios construir.
- Aumentar la calidad del producto al permitir el desarrollo de un mayor número de alternativas de diseño antes de elegir el producto final.

2.5. Estructura de productos, procesos y recursos

Las herramientas ingenieriles virtuales basadas en el modelado y simulado digital tienen potencial para mejorar las actuaciones y análisis de los sistemas de fabricación. La generación actual de técnicas de modelado virtual, para diseñar sistemas y modelar el ciclo de vida, se basan en integrar los requisitos del producto, procesos y recursos.

Esta integración constituye la estructura PPR (Producto-Proceso-Recurso) y consiste en un esquema en forma de árbol en el que se representan las estructuras de productos, procesos y recursos dentro de un mismo entorno [4].

Inicialmente, se seguía un proceso secuencial para el desarrollo de las distintas estructuras. En primer lugar, se definía la estructura de producto partiendo de los requisitos preestablecidos para este. Una vez definido este esquema, se procedía a estudiar como se iba a fabricar o producir, es decir, se analizaban qué procesos y operaciones eran necesarios y su secuenciación. Por último, establecían los recursos esenciales para realizar cada una de las operaciones.

La creación de un entorno común permite la capacidad de manejar todas las estructuras del proyecto en cada una de las fases del ciclo de vida en tiempo real. De esta manera, los cambios realizados en una de ellas condicionan al resto y permiten determinar las consecuencias y la viabilidad de ese cambio en el momento de su implantación.

En el capítulo 3 se describen en mayor medida las características fundamentales de la estructura PPR y las propiedades de cada una de las subestructuras dependientes de esta.

Capítulo 3

Metodología para el diseño de la estructura de fabricación

En este capítulo se va a realizar una explicación teórica del proceso que se va a seguir para gestionar el ciclo de vida de un producto aeronáutico [3]. La estructura del capítulo es la siguiente:

1. Configuración inicial.
 - Definición de la compañía y de su líder.
 - Definición del programa.
 - Definición de la plantilla de proyecto.
 - Definición de los proyectos que constituyen el programa.
2. Desarrollo de un proyecto.

3.1. Configuración Inicial

El primer paso a dar es la creación de una compañía o empresa. Una vez establecida ya se pueden empezar a gestionar las siguientes etapas. La fundación de una compañía corre a cargo de uno o varios gerentes o accionistas. En lo que sigue se va a suponer un líder de la compañía que tiene todos los privilegios necesarios.

La primera tarea a realizar por este líder es la definición del programa que va desarrollar la compañía en cuestión. Un programa es una colección de proyectos o conceptos de proyectos. En general, los proyectos que constituyen un programa tienen naturaleza similar o comparten un objetivo común.

Una vez creado el programa se procede a la realización de una plantilla de proyecto. Esta define una estructura común para la definición de todos los proyectos que conforman el programa. Esta base común hace más fácil a los líderes de proyectos crear proyectos y permite a la compañía (la que gestiona el programa) estandarizar.

Una plantilla de proyecto contiene típicamente carpetas, marcadores y tareas (WBS). Con el objetivo de proporcionar flexibilidad a la plantilla se definen preguntas selectivas, de forma que dependiendo de una respuesta u otra se habilitan unas tareas u otras.

En esta plantilla se define la estructura de desglose de trabajo común a todos los proyectos que pertenecen al programa. Esta estructura es la representación de forma jerárquica de todos los productos, componentes, servicios y tareas necesarios para la consecución del proyecto. Una tarea asociada a esta estructura es un trabajo asignado a un miembro del proyecto por el líder del proyecto. Aunque estas tareas pertenecen a un proyecto tienen su propio ciclo de vida.

Cuando esta estructura se define en una plantilla de proyecto, no se pueden definir fechas o porcentajes de realización para las tareas. Estas acciones se tienen que ajustar a la hora de crear el proyecto.

Las fases comunes a todos los proyectos que constituyen el programa son las siguientes:

- Fase de gestión de requisitos. Destinada a obtener los requisitos del proyecto.
- Fase de diseño. Donde se definen los componentes/partes del proyecto.
- Fase de programación. Se define la estructura de fabricación.
- Fase de servicio. Se fija la estructura de mantenimiento y evolución.
- Fase de verificación. Comprobación de los resultados del proyecto.

Tras establecer por completo la plantilla de proyecto se definen los proyectos asociados al programa. Estos proyectos se caracterizan por:

- Tener un producto común.
- Compartir recursos o tipos de habilidades.
- Utilizar tecnologías muy similares.
- Tener un mercado o productos similares.
- Tener contratista, proveedores y clientes iguales.

3.2. Desarrollo de un proyecto

En esta sección se procede a analizar de forma general los pasos para desarrollar un proyecto aeronáutico.

El esquema seguido es el siguiente:

- Fases del proyecto.
- Equipos de trabajo.

- Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto.
- Creación de la lista de materiales.
- Estructura de fabricación.
- Simulaciones.

3.2.1. Fases del proyecto

Las fases existentes son aquellas definidas en la plantilla de proyecto previa (Gestión de requisitos, Diseño, Programación, Servicio y Verificación).

3.2.1.1. Gestión de requisitos

El éxito de cualquier producto/proceso depende, en su mayor parte, de que este cumpla con las especificaciones marcadas por los clientes y por los usuarios que tienen relación con el mismo.

Una especificación es la manifestación explícita del conjunto requerimientos, características o prestaciones que debe verificar el producto.

El objetivo de esta fase es el de obtener los requisitos asociados al proyecto, analizarlos por separado y de forma conjunta y finalmente validarlos. Una vez realizada dicha validación, se puede iniciar la siguiente fase del proceso, el diseño.

Existen distintas agrupaciones de especificaciones. Algunas de ellas son las mostradas a continuación:

- Función. Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto.
- Dimensiones. Espacios, volúmenes, masas, longitudes, anchuras, alturas, diámetros.
- Movimientos. Tipos de movimientos, desplazamientos, trayectorias, secuencias y tiempos.
- Fuerzas. Magnitud, dirección y sentido de fuerzas.
- Energía. Accionamientos mecánicos, control, transmisiones o potencia.
- Materiales.
- Señales y control.
- Fabricación y montaje. Volumen y cadencia de producción, procesos o equipamiento.
- Transporte y fabricación.
- Vida útil y mantenimiento. Tipos de mantenimiento, fiabilidad y mantenibilidad.
- Costes y plazos.

3.2.1.2. Diseño

El fin principal de esta fase es definir o diseñar todos los componentes que constituyen el modelo. También se establecen los principales subconjuntos del producto. Esta agrupación en subconjuntos o partes se puede hacer de diferentes formas, atendiendo a tipo de material, funcionalidades similares o características geométricas comunes.

3.2.1.3. Programación

Una vez definidos y agrupados todos los componentes que constituyen el producto, se procede a establecer la estructura de fabricación. Esta estructura tiene el objetivo de seleccionar una secuencia de operaciones de ensamblado válida y eficiente.

El diagrama de flujo que se emplea para definir esta programación es el siguiente:

1. Análisis de la lista de materiales.
2. Estudio geométrico. Localización de las partes en su posición de ensamblado.
3. Orientación. Definir orientación de cada componente respecto del conjunto.
4. Agrupaciones. Determinar posibles subconjuntos por simetrías, funciones o características.
5. Secuencia. Establecer un orden de montaje.

3.2.1.4. Servicio

En esta fase se fija tanto la estructura de mantenimiento como su evolución.

3.2.1.5. Verificación

Esta es la última fase y en ella se procede a comprobar los resultados obtenidos del proyecto.

3.2.2. Equipos de trabajo

En esta sección se define la estructura organizativa que presenta el proyecto. Dicha estructura es el organigrama compuesto por todos los equipos de trabajo asignados al proyecto. La creación de los equipos de trabajo es una de las principales tareas del gestor de programas.

Un equipo de trabajo es un grupo de dos o más personas que dedican sus esfuerzos a la consecución de uno o varios objetivos del proyecto.

De manera general, existen equipos de diseño, fabricación, verificación, ingeniería o calidad, además de los responsables pertinentes de cada área (entre ellos el líder del proyecto).

3.2.3. Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto

La asignación de responsabilidades se apoya en la estructura organizativa. El líder del programa es el encargado de la incorporación al proyecto de todos los miembros que van a desempeñar una labor en este. Además asigna las responsabilidades de líder del proyecto al gestor de este.

A su vez, el líder del proyecto tiene la función de asignar las responsabilidades pertinentes a los jefes de equipo de primer nivel. Estos jefes, por su parte, gestionan y distribuyen las funciones y roles de los miembros de su equipo y de jefes de equipo de segundo nivel.

3.2.4. Creación de lista de materiales

La lista de materiales es una estructura multinivel de componentes y subcomponentes que se usa para definir un producto. Una primera clasificación en base a ingenieros de diseño o ingenieros de fabricación es la siguiente:

- Lista de materiales de ingeniería (eBOM). Contiene los componentes necesarios para definir un producto. También denominada lista de materiales *as design* ya que representa los componentes del diseño.
- Lista de materiales de fabricación (mBOM): Define los componentes necesarios para la fabricación en un determinado orden. También denominada lista de materiales *as planned* por que representa la estructura en que se industrializa o fabrica el producto.

3.2.5. Estructura de fabricación

La estructura o proceso de fabricación describe qué se fabrica, cómo se fabrica, qué recursos se necesitan y dónde se realiza la producción.

En esta estructura, denominada PPR (Producto-Proceso-Recurso), se emplean tres conceptos diferentes:

- Producto. Un producto representa un elemento intermedio o final. Los elementos resultado de un ensamblado son nuevos productos.
- Proceso. Un proceso representa un cambio de producto durante la producción. Los procesos pueden ser de diferentes tipos: ensamblado, transporte, mecanizado, etc. Al conjunto de todos los procesos se le denomina plan de proceso.
- Recurso. Un recurso es una entidad software o hardware involucrada en un proceso. Ejemplos de recursos son los robots, las máquinas o los equipos de transporte.

Los elementos del árbol PPR están relacionados entre sí. Un proceso tiene el objetivo de producir un producto y para ello es necesario el uso de uno o varios recursos.

Por lo tanto el desarrollo de esta estructura permite describir con detalle el proceso de producción del producto, especificando cada uno de los pasos y los resultados intermedios generados.

A continuación, se describen por separado cada una de las estructuras que conforman el árbol PPR.

3.2.5.1. Estructura de productos

La estructura de producto o estructura *as planned*, es una estructura tipo árbol exhaustiva y jerárquica de los componentes que forman un entregable del proyecto. Los productos pueden ser:

- Conjuntos ensamblados.
- Componentes individuales.

En la Figura 3.1 se puede ver un ejemplo de este tipo de estructura con sus dos tipos de productos.

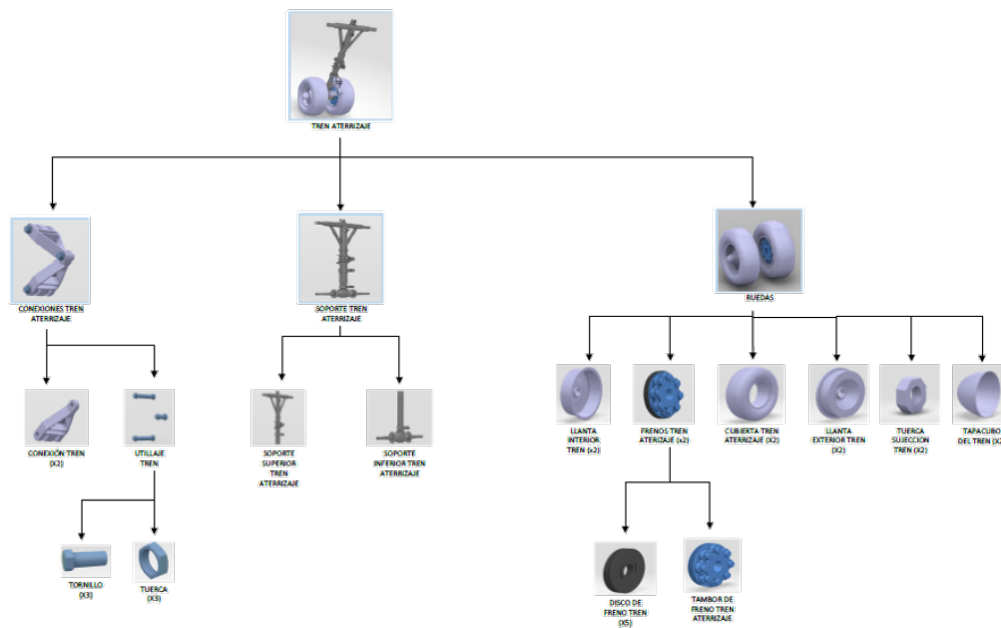


Figura 3.1: Ejemplo de una estructura de producto

3.2.5.2. Estructura de procesos

La estructura de procesos define los procesos que se realizan sobre los elementos que conforman el producto. Cada proceso está constituido por operaciones y estas a su vez por otras operaciones de menor nivel. Los tipos de procesos pueden ser:

- Proceso de suministro (Provide Process). Proceso de provisión de un componente por parte de un proveedor. No puede tener predecesores.

- Proceso de transporte (Transport Process). Proceso de desplazamiento de productos o componentes.
- Proceso de ensamblado (Assembly Process). Proceso de integración de dos o más componentes. Suelen tener procesos de suministro dependientes de ellos.
- Proceso de transformación (Transform Process). Proceso que genera cambios en un elemento sin modificar su geometría.
- Proceso de sujeción (Fasten Process). Proceso para sujetar o fijar productos.
- Proceso de eliminación de material (Remove Material Process). Proceso por el cual se elimina parte del producto, como por ejemplo, taladros o mecanizados de ajuste.
- Otros procesos. Procesos definidos por la persona responsable de esta estructura.

Esta estructura puede ser una única línea o tener varias ramificaciones. La producción en serie (por ejemplo, en automoción) se caracteriza por tener una única línea de producción. Sin embargo, en la industria aeronáutica se tienen diferentes subestructuras de procesos. Únicamente el ensamblado final presenta una distribución en línea.

Para organizar esta estructura se suele emplear el diagrama de Gantt. Se trata de una herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Gracias a una fácil y cómoda visualización de las acciones a desarrollar, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un proyecto. Reproduce gráficamente las tareas, su duración y secuencia, además del calendario general del proyecto y la fecha de finalización prevista.

3.2.5.3. Estructura de recursos

La estructura de recursos definen los recursos que se utilizan durante los distintos procesos para construir un producto.

Dependiendo de dónde y cómo los recursos son utilizados, estos pueden ser clasificados como:

- *Working Resource*. Es aquel recurso que ejecuta la operación. Por ejemplo, un operario o un robot.
- *Non-working Resource*. Se utiliza para ejecutar la operación. Por ejemplo, una herramienta manual.
- *Organizational Resource*. Es el recurso donde la operación tiene lugar. Por ejemplo, una estación de ensamblado.

A continuación se muestran diferentes tipos de recursos junto con algunas de sus características [2] (Figura 3.2).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE FABRICACIÓN

Resource	Category	Logic	Referenced by	Aggregated by	Aggregates
Area 	Organizational	None allowed; non-programmable	A where implement link only	Organizational and Area resources	All types of resources and products
Organizational 	Organizational	Defined in reference only; non-programmable	A where implement link only	Not allowed	All types of resources and products
Robot 	Working	Programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Products only
Worker 	Working	Defined in reference or in context; programmable	A who implement link only	Organizational and Area resources	Products only
Transport 	Working	Programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Products and User-Defined resources
Conveyor 	Working	Non-programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Products only
NC Machine 	Working	Programmable	A who implement link only	NC Machine, Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Tool Device, NC Machine, and User-Defined resources and products
Industrial Machine 	Working	Non-programmable, no contextual logic is allowed.	A who implement link only	Industrial Machine, Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Tool Device, NC Machine, and User-Defined resources and products
Inspect 	Working	Programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Tool Device and User-Defined resources and products
Control Device 	Working	Programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	User-Defined resources and products
Logic Controller 	Working	Non-programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Products only
Tool Device 	Non-working	Non-programmable	A with implement link only	Tool Device, NC Machine, Industrial Machine, Inspect, Organizational, Manufacturing Setup, and Area	Tool Device and User-Defined resources and products
Storage 	Non-working	Programmable	A with implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	User-Defined resources and products
Sensor 	Non-working	Non-programmable	A who implement link only	Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	Products only
User-Defined 	Non-working	programmable	A with implement link only	User-Defined, Transport, Storage, Control Device, Tool Device, NC Machine, Inspect, Organizational, Manufacturing Setup, and Area resources	User-Defined resources and products
Manufacturing Setup 	Non-working	Non-programmable	a with implement link only	Organizational and Area resources	All types of resources and products

Figura 3.2: Tipos de recursos



Figura 3.3: Ejemplo de una estructura de procesos junto con sus recursos

3.2.6. Simulaciones

Una simulación permite recrear de forma virtual y controlada procesos o operaciones que se tienen que realizar en la realidad para conseguir un resultado. Por tanto se trata de un paso previo que permite validar el procedimiento a seguir.

En un proceso de fabricación de un producto, las simulaciones permiten a los diseñadores visualizar componentes o conjuntos en movimiento para comprobar y validar la factibilidad de la fabricación. Se suelen utilizar durante la revisión del diseño del plan de fabricación.

En el Capítulo 6 se procederá a utilizar esta herramienta para recrear un proceso de ensamblado.

Capítulo 4

Plataforma 3DEXPERIENCE

En este capítulo se va a realizar una breve descripción de la herramienta que se va a emplear para gestionar el ciclo de vida de un producto aeronáutico [9]. El software empleado es **3DEXPERIENCE** de *Dassault Systèmes*.

4.1. Introducción

En sus inicios, esta herramienta era únicamente una aplicación para diseño 3D de pequeños componentes y ensamblados. Más tarde, se extendió a elementos y ensamblados de mayor tamaño.

Un paso más allá, fue la posibilidad de gestionar toda la información y herramientas asociadas al producto. Todo esto permite dirigir y controlar todos los aspectos del ciclo de desarrollo del producto desde la gestión de los requisitos o especificaciones hasta el mantenimiento, pasando por los pasos intermedios de diseño, fabricación, verificación y entrega.

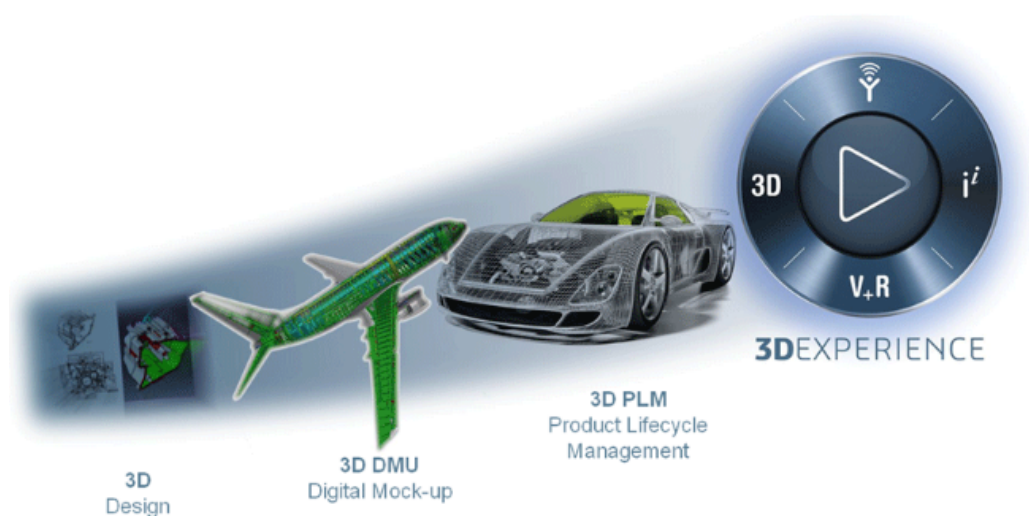


Figura 4.1: Evolución de la plataforma

Las características generales de esta plataforma son las siguientes:

- Único acceso a todas las aplicaciones.
- Interfaz de usuario optimizada e intuitiva.
- Integración de toda la información y de todas las herramientas.
- Fácil acceso a la carpeta de información y servicios.

4.2. Evolución de la plataforma

Los principales pasos de esta han sido los siguientes:

- Catia V5 (1998).

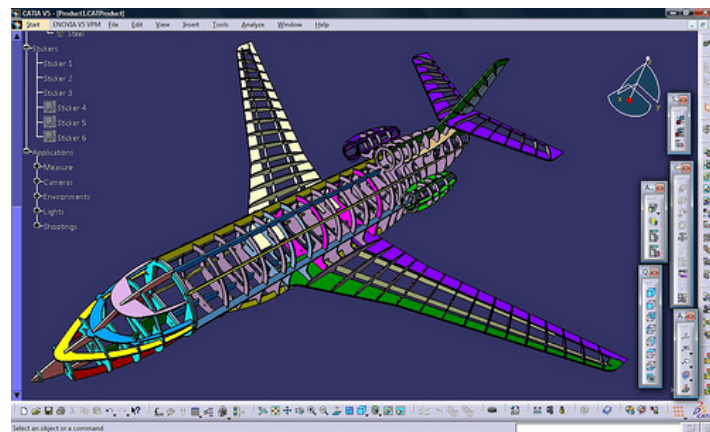


Figura 4.2: Catia V5

- Catia V6 (2008).

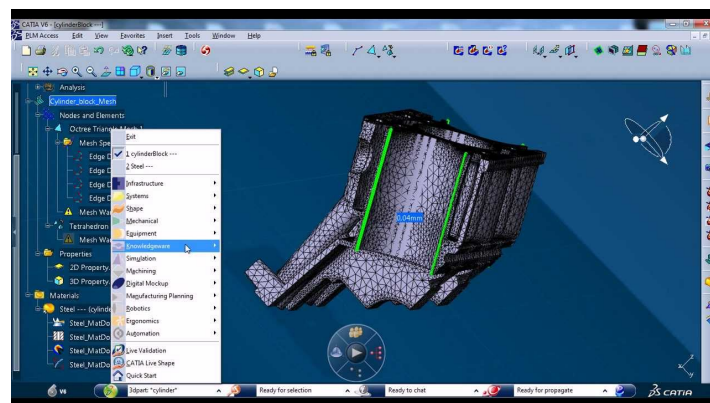


Figura 4.3: Catia V6

- Plataforma 3DEXPERIENCE (2013).

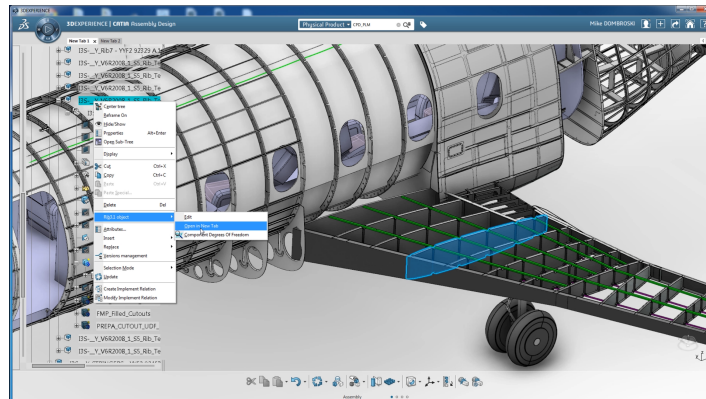


Figura 4.4: 3DEXPERIENCE

4.3. Capacidades de 3DEXPERIENCE

Se tienen una gran cantidad de funcionalidades integradas dentro de los botones principales (3DCompass), Figura 4.5.

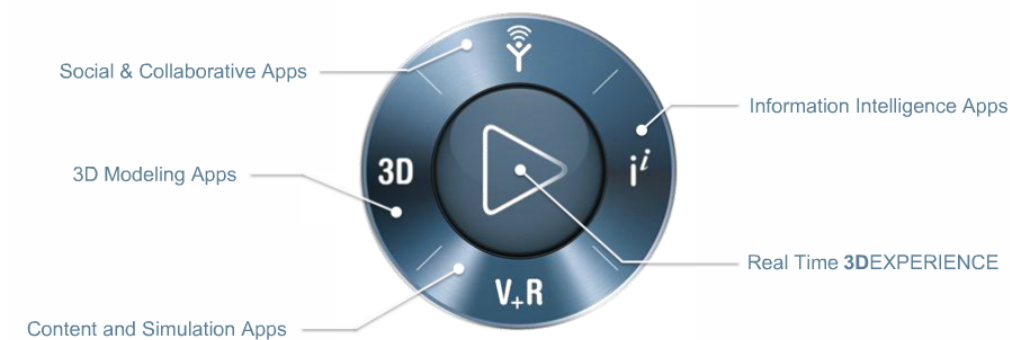


Figura 4.5: Botones principales de la herramienta

- Aplicaciones sociales y colaborativas.
 - 3D Passport. Acceso asegurado a la plataforma 3DEXPERIENCE.
 - 3DInstant Messaging. Chat en tiempo real para transmisión de texto, imágenes y elementos 3D.
 - 3DSwym. Crear comunidades sociales para colaborar en un entorno no estructurado.
 - 3DSpace. Almacenamiento en la nube y compartición de cualquier contenido (documentos, imágenes o elementos 3D).
- Aplicaciones de modelado en 3D.
 - 3DPlay. Compartir vistas 3D y simular escenas 3D.

- Aplicaciones de información inteligente.
 - 3DDashboard. Vista del panel de procesos y objetivos de negocio simple y unificado.
 - 6WTagging. Crear enlaces para refinar búsquedas de cualquier tema.
 - 3DSearch. Recoger la información estructurada y no estructurada.



Figura 4.6: Funcionalidades principales

4.4. Interfaces de la plataforma

Esta plataforma permite diseñar productos (CATIA), simular (SIMULIA), producir (DELMIA) y llevar a cabo la colaboración entre los distintos usuarios (ENOVIA). A continuación, se procede a describir de forma general cada una de estas aplicaciones [4].

4.4.1. Diseño o Ingeniería

Para el diseño o modelado virtual de los productos esta plataforma posee la aplicación CATIA. Esta herramienta es un programa informático de diseño asistido por ordenador (CAD), ingeniería asistida por ordenador (CAE) y fabricación asistida por ordenador (CAM). El objetivo de esta aplicación es dar soporte al ingeniero desde la concepción del diseño hasta el análisis del producto.

4.4.2. Simulaciones

Por su parte, para todas las simulaciones que se quieran realizar, se dispone de la interfaz SIMULIA. Esta aplicación proporciona, a la distintas industrias consumidoras, un entorno de colaboración donde realizar con veracidad, seguridad y sencillez muchas pruebas del comportamiento del producto. Por tanto permite automatizar los procesos de simulación tradicionales y facilitar la toma de decisiones una vez obtenidos los resultados de las pruebas.

4.4.3. Fabricación o Producción

La interfaz permite definir virtualmente, planificar, crear, supervisar y controlar todos los procesos de producción, desde las simulaciones de planificación e integración del proceso hasta la definición completa de las instalaciones y equipos de producción. El principal punto a favor de esta herramienta es que permite detectar gran cantidad de errores, cometidos en cualquiera de las fases anteriores, antes de la implementación física. Por último, hay que comentar que durante la simulación del proceso no sólo se controlan tiempos sino que también se analizan espacios.

4.4.4. Gestión del ciclo de vida

Para conseguir este objetivo, *Dassault Systèmes* integra la interfaz ENOVIA, que proporciona un entorno de colaboración en tiempo real sobre una plataforma para gestionar el ciclo de vida de un producto en todas sus fases. En ella pueden interactuar creadores, colaboradores y clientes de forma sencilla y segura para modificar el estado del proyecto.

Capítulo 5

Descripción general de la aplicación

En este capítulo se va a realizar una configuración general de la plataforma para disponer de un entorno colaborativo entre todos los miembros que pertenecen a la compañía. Para generar dicho entorno se hace uso de la interfaz ENOVIA, descrita de forma concisa en el capítulo anterior. Los pasos seguidos para obtener los resultados aquí mostrados se recogen en el anexo A.

5.1. Introducción

En primer lugar, se tiene que disponer de un grupo de gerentes o accionistas que son los fundadores de la empresa. En esta aplicación, se supone que todos estos privilegios y responsabilidades recaen en el líder de la compañía. Una vez definido este líder, es este el encargado de crear la compañía o empresa y posteriormente de definir el programa o programas que tienen previsto afrontar.

Una vez creado el programa, el líder de este (en este caso es igual al líder de la compañía), define la plantilla de proyecto que recoge las pautas comunes de todos los proyectos que constituyen el programa.

Por último, se generan los proyectos con sus características generales. En el siguiente capítulo se procede a desarrollar uno de los proyectos de manera detallada.

5.2. Implantación

Para la definición del líder, de la compañía, del programa o los proyectos, se utilizan las aplicaciones denominadas *Social and Collaborative Apps*, y dentro de este grupo, las relacionadas con la gestión de programas y planificación del producto. Estas aplicaciones permiten a los usuarios:

- Definir su cartera de productos usando características y variantes.
- Gestionar el desarrollo de productos.
- Definir programas de productos y contratos para implementar los procesos relacionados con la validación del diseño del producto y el lanzamiento de éste.

Estas aplicaciones no solo permiten a todos los miembros de un programa completar el contenido del trabajo definido en este, también dan la posibilidad a los administradores de realizar cuadros de mando en tiempo real para gestionar el estado del programa y tomar las acciones correctivas que sean necesarias.

En lo que sigue se mostrarán los resultados obtenidos. Los pasos seguidos para obtener dichos resultados se recogen en los anexos.

5.2.1. Definición de la compañía y de su líder

En primer lugar, se inicia el programa usando el usuario establecido como administrador (PLMADM). Los privilegios asignados a este usuario permiten crear nuevos usuarios.

Las características básicas del líder de la compañía y del programa se muestran en la Figura 5.1.

JPG : Propiedades	
Editar detalles Activar/Desacti... 	
Nombre de usuario	JPG
Estado	Activo
Nombre	Juan
Segundo nombre	Desconocido
Apellido	Perez
Compañía	 Proyecto Fin de Master
Representante de la compañía	No es un representante de la compañía.
Teléfono de la oficina	
Teléfono particular	
Número de localizador	Desconocido
Fax	Desconocido
Correo electrónico	perezcampofrio@hotmail.com
Preferencia de correo generada por el sistema	Ninguno
Sitio web	
Tipo de inicio de sesión	Estándar
Organizar reuniones	Sí

Figura 5.1: Usuario líder de la compañía y del programa

Este usuario tiene los mismos privilegios que el usuario administrador con el objetivo de no tener ningún problema a la hora de desarrollar los siguientes pasos.

El resto de propiedades se dejan por defecto, pudiéndose modificar posteriormente cuando se requieran.

Tras la creación de este usuario, se procede a crear la compañía donde se desarrollan el programa y los proyectos. El nombre de la compañía es *Proyecto Fin de Máster*.

Proyecto Fin de Master: Propiedades





 Editar detalles
  Colaborar
  Activar/Desactivar...
 

Imagen	
Nombre	Proyecto Fin de Master
Compañía matriz	
Id. de la compañía	PFM
Director de recursos	
Código CAGE	0
Número DUNS	0
Número de teléfono	Desconocido
Número de fax	Desconocido
Estado	Activo
Descripción	
Vault primario	Producción de eService
Vaults secundarios	vplm
Dirección	
Código postal	
País	
Coste estándar	0.0 Dólar

Figura 5.2: Compañía

Como se puede observar, se pueden ajustar bastantes características para definir completamente a la compañía.

5.2.2. Definición del programa

El programa que se utiliza en este desarrollo es el *programa 6745* de **LEGO**. Este programa está formado por los 3 proyectos siguientes:

- 6745-H. Helicóptero multifuncional que puede ser destinado a labores de exploración y control o bien su adaptación a helicóptero de ataque (Figura 5.3a).
- 6745-A. Avión básico propulsado por turbinas (Figura 5.3b).
- 6745-AH. Avión de recreo propulsado por motor de hélices (Figura 5.3c).



Figura 5.3: Proyectos del programa 6745

Todos los proyectos desarrollados en la empresa tienen una estructura idéntica, es decir presentan las mismas fases (Gestión de requisitos, Diseño, Programación, Servicio y Verificación).

Las propiedades fundamentales que definen a dicho programa se recogen en la Figura 5.4.

6745	Métricas	Historial	Ciclo de vida	Proyectos	Decisiones	Reuniones
6745 : Información básica						
Editar detalles						
Nombre del programa	6745					
Directiva	Programa					
Descripción del programa	<p>El programa 6745 es un programa aeronautico que esta formado por 3 proyectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6745-H. Helicoptero multifuncional. - 6745-A. Avion propulsado por turbinas. - 6745-AH. Avion de recreo propulsado por helice. <p>Todos los proyectos desarrollados en la empresa tienen una estructura identica (presentan las mismas fases).</p>					
Estado	Activo					
Vault predeterminado	eService Production					

Figura 5.4: Información del programa 6745

5.2.3. Definición de la plantilla de proyecto

Las características básicas de la plantilla se muestran en la Figura 5.5.



Plantilla proyectos 6745 : Información básica	
<div> <div>Editar</div> <div>  </div> </div>	
Nombre de la plantilla del proyecto	Plantilla proyectos 6745
Directiva	Plantilla del proyecto
Propietario	Perez, Juan
Descripción	Esta plantilla recoge la base comun de todos los proyectos pertenecientes al programa 6745.
Estatus de la plantilla del proyecto	Activo
Moneda base	Euro
Fecha de creación	28-abr-2016
Nombre de la compañía	 Proyecto Fin de Master
Vault predeterminado	eService Production

Figura 5.5: Información de la plantilla

5.2.3.1. Definición de la pregunta selectiva

Tras haber definido la plantilla de proyecto con las propiedades básicas, se procede a establecer una pregunta selectiva que permita a la hora de crear un proyecto seleccionar entre una aeronave de ala fija y una aeronave de ala rotatoria.

Tipología de Aeronave : Preguntas	
<div> <div>Editar detalles</div> <div>  </div> </div>	
Tipo	Pregunta
Nombre	Tipología de Aeronave
Directiva	Pregunta
Propietario	Perez, Juan
Estado	Activo
Pregunta	Se trata de una aeronave de ala fija?
Originador	Perez, Juan
Originado	28-abr-2016

Figura 5.6: Pregunta selectiva

5.2.3.2. Definición de marcadores

Con el objetivo de recoger un enlace donde se recoja toda la información acerca del programa 6745, se crea este marcador. Se trata de una dirección Web, a la que se puede acceder simplemente pinchando en el vínculo (URL).



Información acerca del Programa 6745 : Información básica	
Editar detalles 	
Nombre del marcador	 Información acerca del Programa 6745
Directiva	URL
Vínculo (URL)	http://lego.brickinstructions.com/en/lego_instructions/set/6745/rb
Descripción	Este marcador contiene la información completa acerca del programa 6745.

Figura 5.7: Marcador

5.2.3.3. Definición de la estructura de desglose del trabajo

En la Figura 5.8 se pueden ver los detalles de la implementación de la estructura de desglose del trabajo para el programa en cuestión.





















































Plantilla proyectos 6745 : Estructura de desglose del trabajo							
Acciones  Editar  Tipo Tarea  No 1                         							
						Estimado	
 Nombre de la tarea	Tipo de tarea	Id.	Dependencia	 Estado		Duración estimada	Req. tarea
  Plantilla proyectos 6745	Plantilla del proyecto			Activo		0.0 Días	
   Gestion de requisitos	Fase	1		 Crear		0.0 Días	Obligatoria
   Design	Fase	5		 Crear		0.0 Días	Obligatoria
   Programación	Fase	6		 Crear		0.0 Días	Obligatoria
   Servicio	Fase	7		 Crear		0.0 Días	Obligatoria
   Verificación	Fase	8		 Crear		0.0 Días	Obligatoria

Figura 5.8: Estructura de desglose del trabajo

A su vez, la fase de gestión de requisitos se puede dividir en tres tareas: Captura de requisitos, Análisis de requisitos y Validación de requisitos.

Gestion de requisitos : Estructura de desglose del trabajo							
Acciones Editar Tipo Tarea No 1							
						Estimado	
Nombre de la tarea	Tipo de tarea	Id.	Dependencia		Estado	Duración estimada	Req. tarea
Gestion de requisitos	Fase				Crear	0.0 Días	Obligatoria
Captura de requisitos	Tarea	2			Crear	0.0 Días	Obligatoria
Análisis de requisitos	Tarea	3			Crear	0.0 Días	Obligatoria
Validación de requisitos	Tarea	4			Crear	0.0 Días	Obligatoria

Figura 5.9: Tareas de la fase de gestión de requisitos

5.2.3.4. Definición de la carpeta de documentación

Todos los proyectos tienen una carpeta de documentación común. Los tres documentos son:

- Documento de diseño.
- Documento de estructura.
- Documento de requisitos.

Carpets de proyecto							
Acciones Editar Activar Editar							
Nombre		Tipo	Título	Acción	Rev.	Ver.	Descripción
Plantilla proyectos 6745		Plantilla del proyecto					Esta plantilla recoge la base común de todos los proyectos pertenecientes al programa 6745.
Documentos		Vault de área de trabajo					Esta carpeta contiene la documentación referente a design, estructura y requisitos.
Design-92034418473		Q/Q Documento	Design Document		Q	Q	
Estructura-1020347163		Q/Q Documento	Plan Document		Q	Q	
Requisitos-1120347803		Q/Q Documento	Requirement Document		Q	Q	

Figura 5.10: Documentación de los proyectos

5.2.4. Definición de los proyectos

Partiendo de la plantilla de proyecto anteriormente definida se crean los tres proyectos. En la Figura 5.11 se pueden ver las características básicas de cada proyecto.

Proyectos								
Acciones  Vista    								
Nombre		Fase actual	Tipo	Estatus	Propietario	Fecha de creación	Programa	Descripción
 6745-A		Gestion de requisitos	Espacio de proyecto	Crear	Perez, Juan	05-may-2016	 6745	Avion basico propulsado por turbinas.
 6745-AH		Gestion de requisitos	Espacio de proyecto	Crear	Perez, Juan	05-may-2016	 6745	Avion de recreo propulsado por motor de helices.
 6745-H		Gestion de requisitos	Espacio de proyecto	Crear	Perez, Juan	05-may-2016	 6745	Helicoptero multifuncional que puede ser destinado a labores de exploracion y control o bien su adaptacion a helicoptero de ataque.

Figura 5.11: Proyectos del programa 6745

Tras esto, se tienen que ajustar las fechas, los porcentajes de realización o la asignación de personal a las tareas a cada uno de los proyectos.

Capítulo 6

Implantación al proyecto 6745-H

En este capítulo se procede a desarrollar el proyecto 6745-H a partir de particularizar y extender la plantilla de proyecto. Los pasos seguidos para obtener los resultados aquí mostrados se recogen en el anexo B.

La estructura del capítulo es la siguiente:

- Definición del producto.
- Fase de gestión de requisitos.
- Estructura de diseño.
- Equipos de trabajo.
- Creación de los productos físicos.
- Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto.
- Creación de la lista de materiales.
- Estructura de fabricación.
- Simulación de montaje.

6.1. Definición del producto

Esta sección recoge los resultados del ensamblado de las distintas configuraciones del producto que constituye el proyecto 6745-H. Para realizar esta integración, se parte de un catálogo de piezas ya existente en formato *cadpart*. La secuencia seguida para realizar dicho ensamblado se ha obtenido de la página web de **LEGO** [1]. Los pasos seguidos en el programa Catia V5 se recogen en el anexo C.

Las cuatro variantes del producto son:

- 6745-H-B. Helicóptero básico (Figura 6.1a).

- 6745-H-R4. Helicóptero básico con 4 palas (Figura 6.1b).
- 6745-H-BA. Helicóptero básico con alas (Figura 6.1c).
- 6745-H-R4A. Helicóptero básico con 4 palas y alas (Figura 6.1d).



(a) 6745-H-B



(b) 6745-H-R4



(c) 6745-H-BA



(d) 6745-H-R4A

Figura 6.1: Configuraciones del producto 6745-H

El proceso seguido para ensamblar las piezas que constituyen la estructura base es el siguiente.

1. Fuselaje inferior.
2. Fuselaje superior.

3. Integración de los dos fuselajes.
4. Cola.
5. Rotor secundario.
6. Integración del rotor secundario con la cola.
7. Integración del conjunto cola con el fuselaje.
8. Tren de aterrizaje.
9. Integración del tren de aterrizaje con el fuselaje.

A partir de la estructura común (Figura 6.2), se particulariza el proceso de ensamblado para cada una de las configuraciones. Para los modelos sin alas (6745-H-B y 6745-H-R4), se integran los rotores principales de 3 y 4 palas respectivamente con el resto del conjunto. Por otro lado, para los modelos con alas (6745-H-BA y 6745-H-R4A), partiendo de los conjuntos anteriores se les integran las alas.

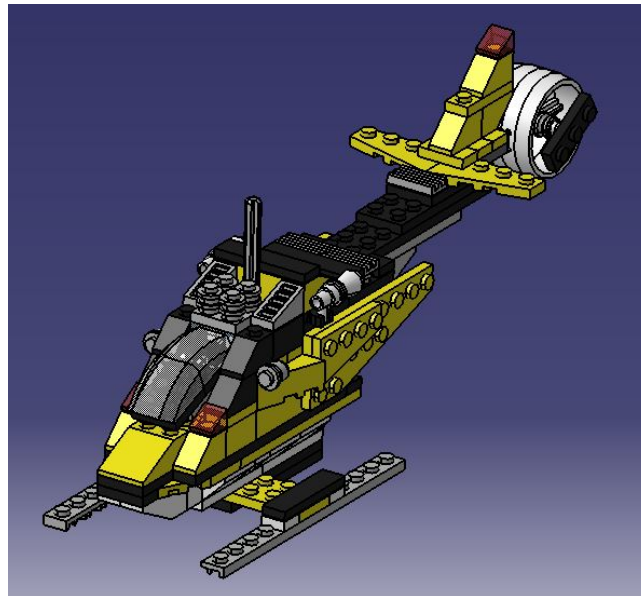


Figura 6.2: Estructura base

En los epígrafes siguientes se muestran algunas imágenes del ensamblado de los distintos conjuntos.

6.1.1. 6745-H-B

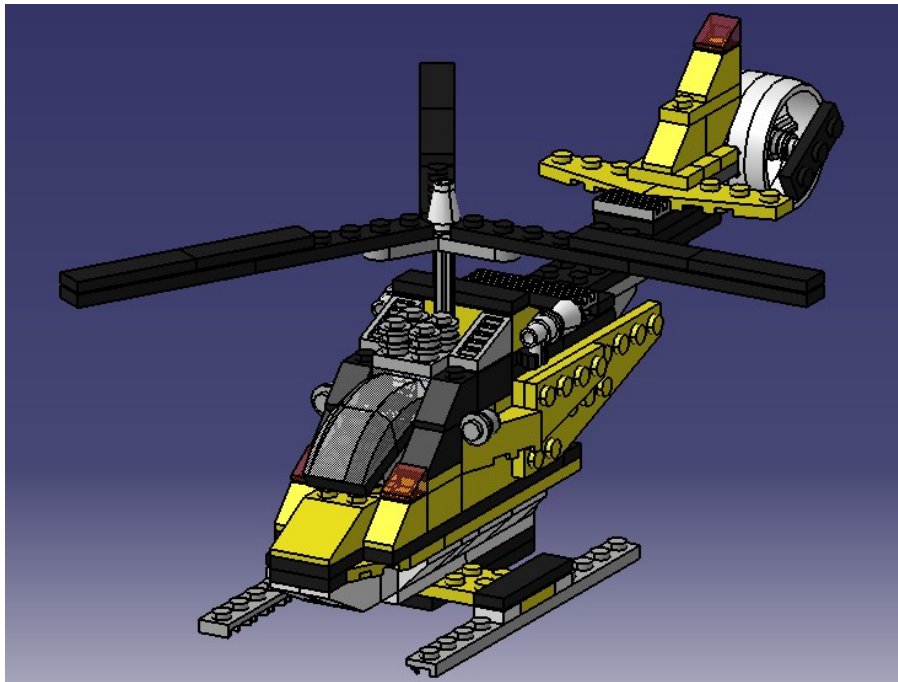


Figura 6.3: Vista 1

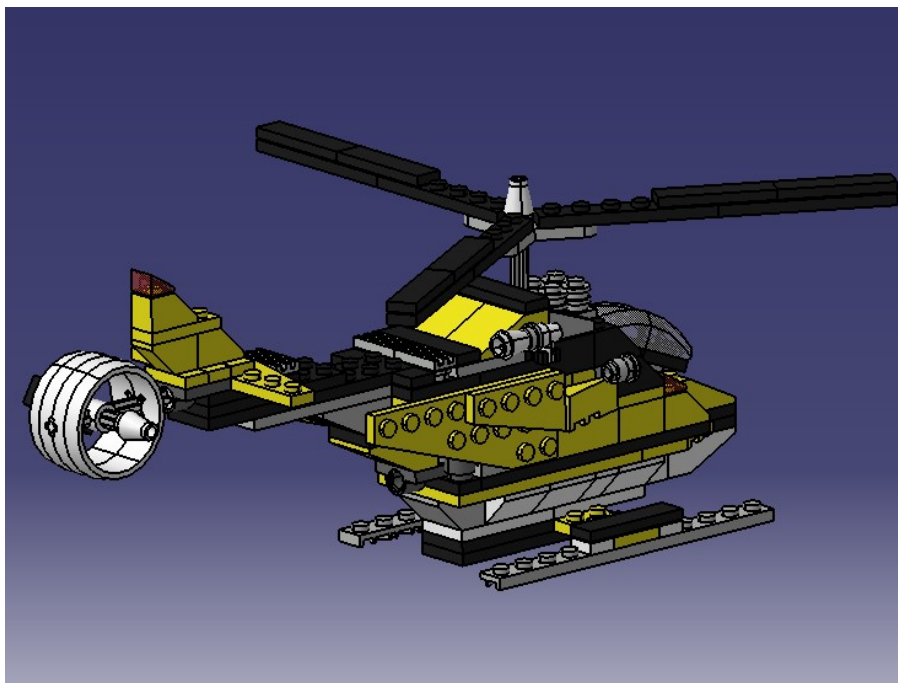


Figura 6.4: Vista 2

6.1.2. 6745-H-R4

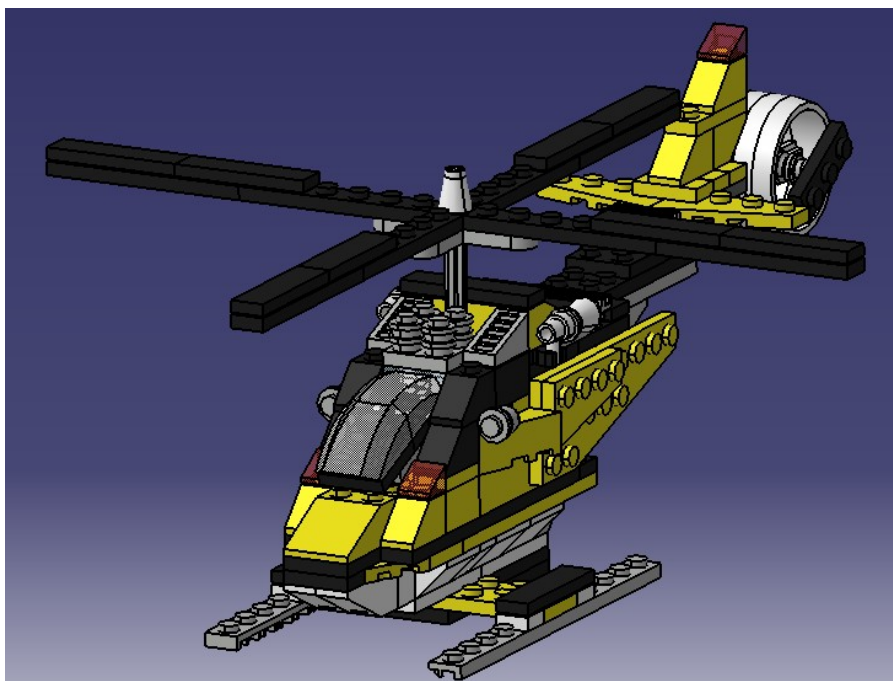


Figura 6.5: Vista 1

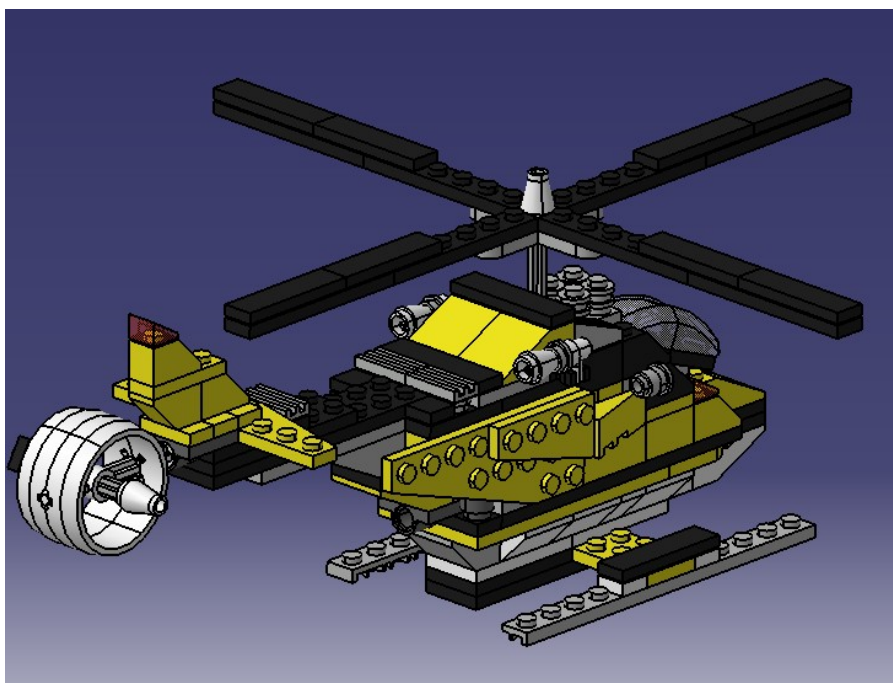


Figura 6.6: Vista 2

6.1.3. 6745-H-BA

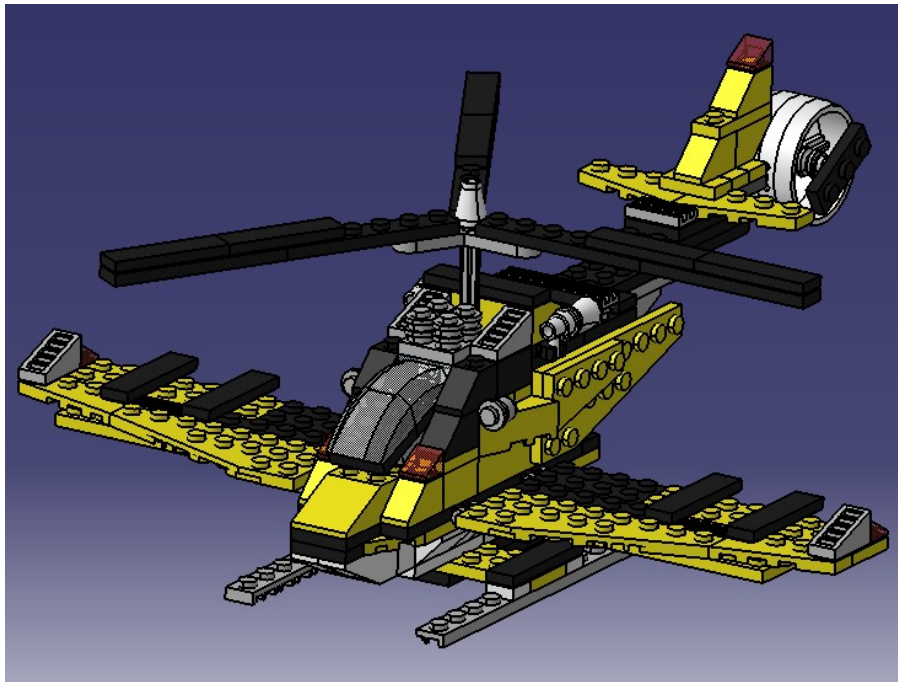


Figura 6.7: Vista 1

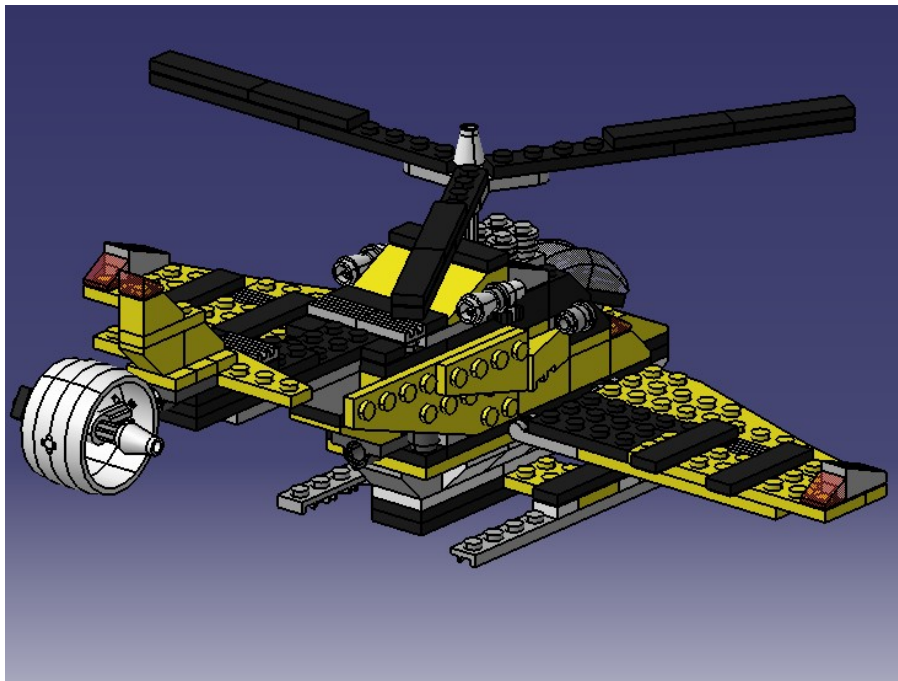


Figura 6.8: Vista 2

6.1.4. 6745-H-R4A

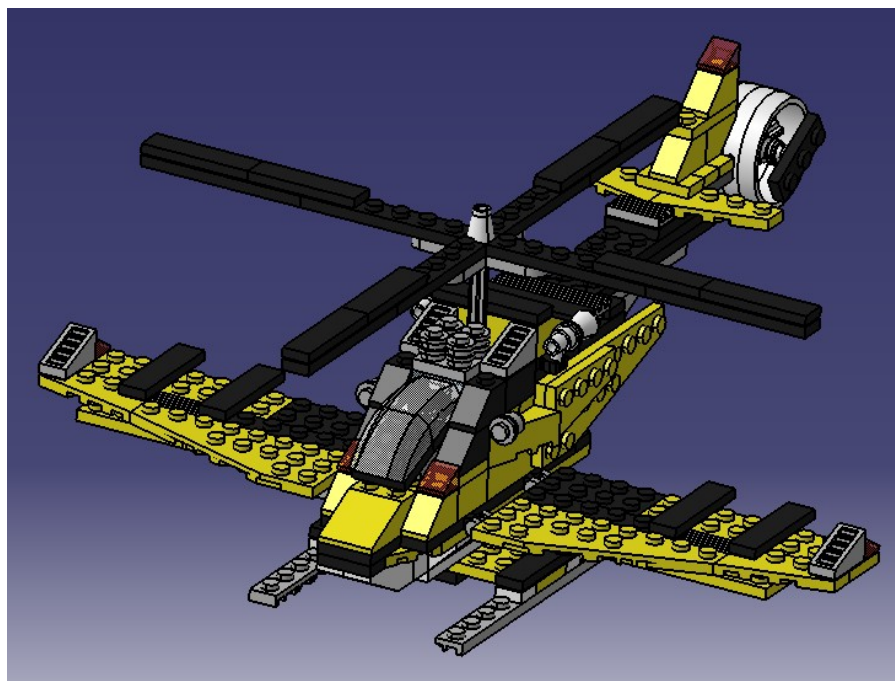


Figura 6.9: Vista 1

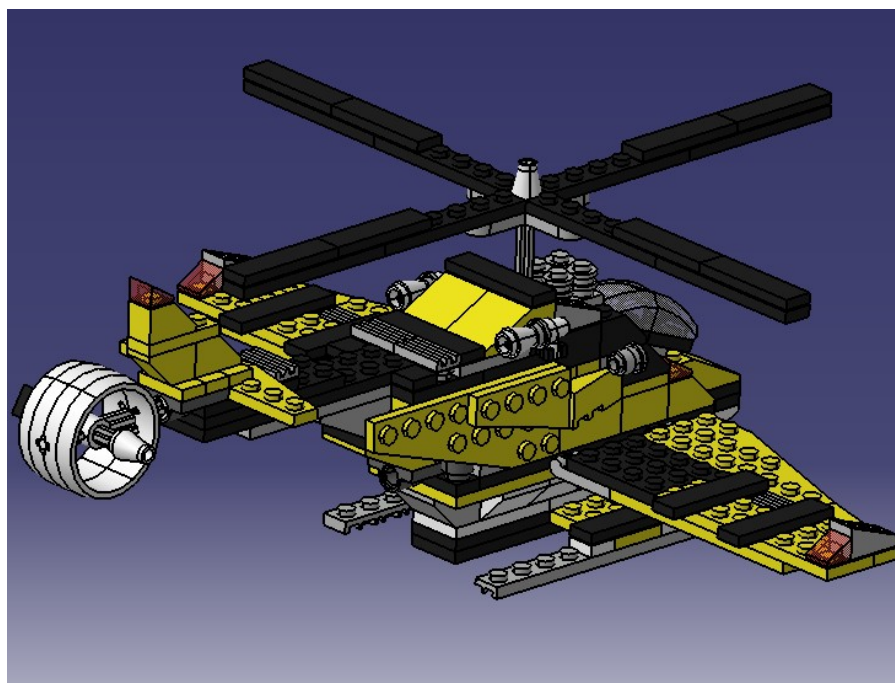


Figura 6.10: Vista 2

6.2. Fase de gestión de requisitos

Estas tareas tienen que llevarse a cabo en todas las partes que constituyen el modelo:






















- Rotor principal.
- Rotor secundario.
- Fuselaje.
- Cola.

Los requisitos son particulares para cada una de estas partes. Pero en general se pueden agrupar dentro de cuatro grupos (aerodinámica, características geométricas, pesos y estructura de palas). Este último grupo solo tiene aplicación en los rotores.

En la siguiente tabla se puede ver como queda implementado esta fase para el proyecto en cuestión. Dicha tabla se estructura en 19 columnas, que se proceden a describir a continuación:

- Nivel. Define la posición de esa tarea dentro del árbol jerárquico.
- Nombre. Es la referencia textual de ese elemento.
- Tipo. Puede ser una fase, tarea, puerta, etc.
- Id. Es un número identificativo del elemento.
- Archivos adjuntos. Permite adjuntar documentos referentes a esa tarea.
- Símbolos de estado. El cuadrado rojo significa atraso, el rombo amarillo en fase y la flecha verde en adelante respecto a la fecha prevista.
- Estado. Situación en la que se encuentra esa tarea.
- Porcentaje de realización.
- Duración, fecha de inicio y final previstas.
- Duración, fecha de inicio y final reales.
- Propietario. Máximo responsable de esa tarea.
- Requisitos de la tarea y función dentro del proyecto.
- EDT. Es otro indicador del nivel de ese elemento.
- Descripción. Breve resumen de ese elemento.

Nivel	Nombre	Tipo	Id.	Archivos adjuntos	Estado	%	Estimada			Real			Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
							Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin					
1	GESTIÓN DE REQUISITOS	Fase			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria			Destinada a obtener los requisitos del proyecto.
2	Captura de requisitos	Tarea	2		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1	-
3	Captura de requisitos del Rotor Principal	Tarea	3		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.1	-
4	Aerodinamica	Tarea	4		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.1.1	-
4	Numero de palas	Tarea	5		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.1.2	-
4	Peso	Tarea	6		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.1.3	-
4	Características geometricas	Tarea	7		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.1.4	-
3	Captura de requisitos del Fuselaje	Tarea	8		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.2	-
4	Aerodinamica	Tarea	9		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.2.1	-
4	Peso	Tarea	10		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.2.2	-
4	Características geometricas	Tarea	11		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.2.3	-
3	Captura de requisitos de la Cola	Tarea	12		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.3	-
4	Aerodinamica	Tarea	13		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.3.1	-
4	Peso	Tarea	14		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.3.2	-
4	Características geometricas	Tarea	15		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.3.3	-
3	Captura de requisitos del Rotor Secundario	Tarea	16		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.4	-
4	Aerodinamica	Tarea	17		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.4.1	-
4	Numero de palas	Tarea	18		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.4.2	-
4	Peso	Tarea	19		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.4.3	-
4	Características geometricas	Tarea	20		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.1.4.4	-

Nivel	Nombre	Tipo	Id.	Archivos adjuntos	Estado	%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
2	Analisis de requisitos	Tarea	21		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2	-
3	<u>Analisis de requisitos del Rotor Principal</u>	Tarea	22		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.1	-
4	<i>Aerodinamica</i>	Tarea	23		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.1.1	-
4	<i>Numero de palas</i>	Tarea	24		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.1.2	-
4	<i>Peso</i>	Tarea	25		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.1.3	-
4	<i>Características geometricas</i>	Tarea	26		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.1.4	-
3	<u>Analisis de requisitos del Fuselaje</u>	Tarea	27		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.2	-
4	<i>Aerodinamica</i>	Tarea	28		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.2.1	-
4	<i>Peso</i>	Tarea	29		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.2.2	-
4	<i>Características geometricas</i>	Tarea	30		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.2.3	-
3	<u>Analisis de requisitos de la Cola</u>	Tarea	31		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.3	-
4	<i>Aerodinamica</i>	Tarea	32		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.3.1	-
4	<i>Peso</i>	Tarea	33		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.3.2	-
4	<i>Características geometricas</i>	Tarea	34		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.3.3	-
3	<u>Analisis de requisitos del Rotor Secundario</u>	Tarea	35		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.4	-
4	<i>Aerodinamica</i>	Tarea	36		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.4.1	-
4	<i>Numero de palas</i>	Tarea	37		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.4.2	-
4	<i>Peso</i>	Tarea	38		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.4.3	-
4	<i>Características geometricas</i>	Tarea	39		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.2.4.4	-
2	Validacion de requisitos	Tarea	40		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.3	-
3	<u>Aprobacion de requisitos</u>	Puerta	41		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria		1.3.1	-

A continuación se recogen algunos de los requisitos para los conjuntos que constituyen el producto.

- **Requisitos del rotor principal.** El rotor principal de este modelo es un rotor de tres palas/aspas, con longitud igual a 12 *bricks* y de color negro. La solidez del rotor está confrontada con el peso del mismo, existiendo una diferencia de peso en los extremos con respecto a la parte central del rotor.
 1. Cada aspa debe disponer de dos elementos de sujeción y compensación de peso en los extremos.
 2. La fijación de las aspas al eje principal se realiza mediante una estructura cónica y una sujeción triangular en la base.
 3. El peso de las aspas debe ser reducido, esto implica que debe estar formado por componentes de tipo *plate*.
- **Requisitos del rotor secundario.** El rotor trasero debe estar protegido y situado en la parte posterior de la cola justo detrás de los estabilizadores.
 1. Las palas son constituidas por una estructura con un diámetro de 3 bricks (*Plate 1x3*) de color negro.
 2. El diseño debe ser aprobado previo al proceso de fabricación.
- **Requisitos del fuselaje cola.** La cola del helicóptero tiene una longitud de 13 bricks, que junto con los estabilizadores debe alcanzar los 14 bricks de longitud. Está estructurada en dos partes, la base y los estabilizadores. La base se caracteriza por ser el punto de conexión con el rotor secundario. Por su parte, los estabilizadores se dividen en dos, el horizontal que debe estar situado al mismo nivel que el punto de conexión con el rotor secundario y tener una longitud de 4 bricks. Sobre éste se sitúa el estabilizador vertical, con una longitud de 3 bricks y con un dispositivo de señalización rojo o naranja en la parte superior.
- **Requisitos del fuselaje medio.** El fuselaje medio corresponde al bloque central del helicóptero exceptuando la cabina de mando. A este componente se le integran el fuselaje base, la cola, la cabina y el rotor principal.
- **Requisitos del fuselaje base.** El fuselaje base tiene que garantizar la operación segura de toma de contacto del helicóptero con el terreno asegurando en todo momento un apoyo estable.
- **Requisitos de la cabina.** La cabina es un elemento estándar que se ensambla al fuselaje medio mediante dos componentes 60478.

Además de estos requisitos existen otros más generales como son:

- **Unidades de medida.** La unidad de medida que se utiliza en este proyecto es el brick/plate 1x1 (componente básico de montaje). La diferencia entre el brick y el plate es la altura. El componente plate tiene una altura igual a 1/3 de la correspondiente al componente brick.
- **Requisitos medioambientales.** Los niveles de emisión y tratamiento de gases del modelo tienen que cumplir la normativa medioambiental vigente.

6.3. Estructura de diseño

En esta fase es donde se definen o diseñan todos los componentes que constituyen el modelo. Para cumplir este objetivo, se realiza una primera división del modelo en dos partes (rotores y fuselaje).

La primera parte esta formada por los rotores principal y secundario. Por otro lado, la segunda esta constituida por la cabina, fuselaje base, medio y la cola.

A continuación se muestra un esquema (Figura 6.11) que recopila la estructura de diseño definida.

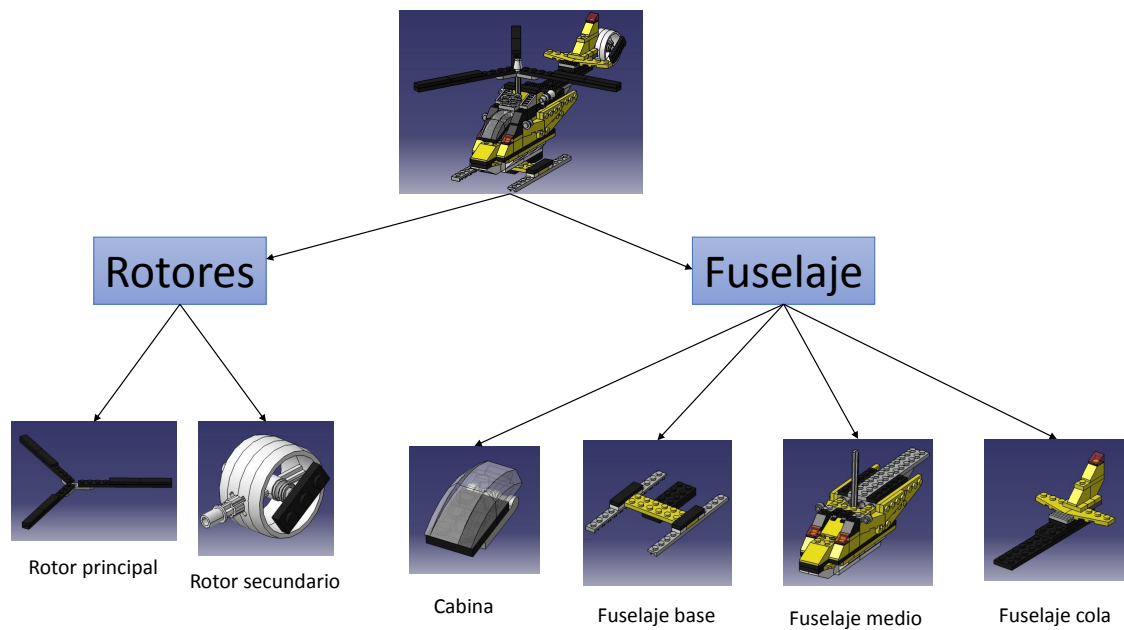


Figura 6.11: Estructura de la fase de diseño

La implementación de esta estructura de diseño en la herramienta ENOVIA es similar a la realizada en la fase de gestión de requisitos, constando la tabla de las mismas características.

Nivel	Nombre	Tipo	Id.			Estado	Estimado			Real				Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
							%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin					
1	DISEÑO	Fase				Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria			Donde se definen los componentes/ partes del proyecto.
2	Rotores	Tarea	43			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Proyecto, Manager	Obligatoria		2.1	Rotor principal y secundario
3	Rotor principal	Tarea	44			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Rotores, Designer	Obligatoria		2.1.1	-
3	Rotor secundario	Tarea	45			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Rotores, Designer	Obligatoria		2.1.2	-
2	Fuselaje	Tarea	46			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Proyecto, Manager	Obligatoria		2.2	Fuselaje base, medio, cola y cabina
3	Cabina	Tarea	47			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		2.2.1	-
3	Fuselaje base	Tarea	48			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		2.2.2	-
3	Fuselaje medio	Tarea	49			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		2.2.3	-
3	Fuselaje cola	Tarea	50			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		2.2.4	-

6.4. Equipos de trabajo

En esta sección se define la estructura organizativa que presenta este proyecto. El esquema de esta estructura puede verse en la Figura 6.12.

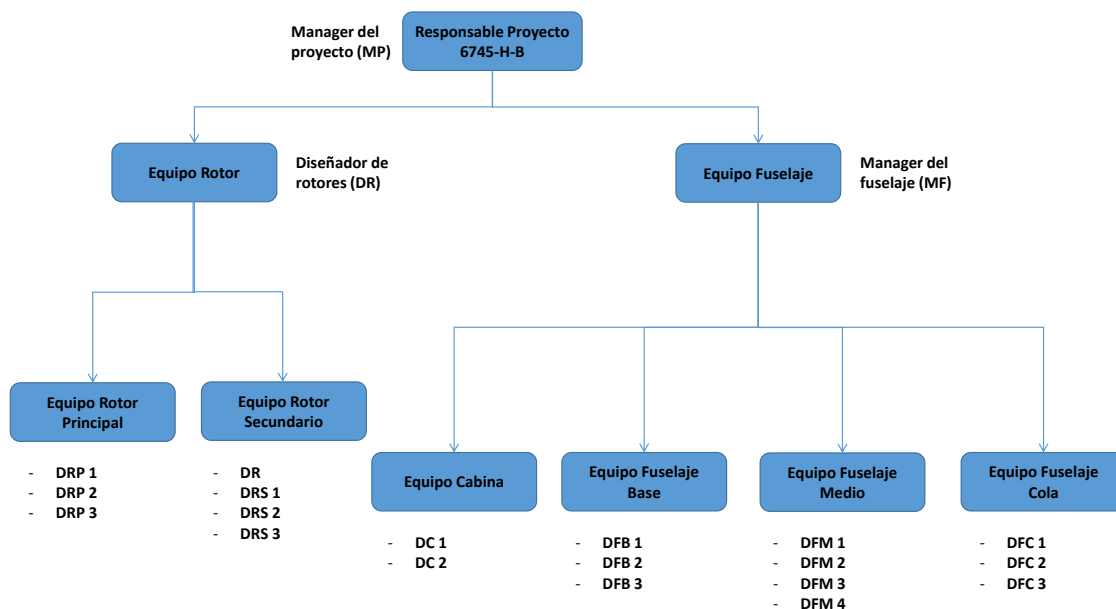


Figura 6.12: Estructura de equipos de trabajo

donde:

- DRP X. Es el diseñador X del rotor principal.
- DRS X. Es el diseñador X del rotor secundario.
- DC X. Es el diseñador X de la cabina.
- DFB X. Es el diseñador X del fuselaje base.
- DFM X. Es el diseñador X del fuselaje medio.
- DFC X. Es el diseñador X del fuselaje cola.

Todos estos usuarios forman parte del personal encargado de desarrollar el proyecto y son definidos o asignados por el jefe del programa (usuario JPG). Si al crear un usuario, este no es asignado al proyecto correspondiente no podrá visualizar nada referente a dicho proyecto al iniciar sesión, es decir, los proyectos creados por el jefe del programa son visibles únicamente para los miembros asignados a estos. En la Figura 6.11 se muestra un listado con todos estos miembros y su puesto principal.

Todos estos usuarios deben de pertenecer a la compañía *proyecto fin de máster* que es la que desarrolla el programa 6745.























6745-H Colaboración básicos Ejecución Experimentos Finanzas Carpetas Objetivos Personas Planificación				
Miembros Acceso de propied... Plan del recurso				
Transferir asig... Informe de carg... Informe de trab... Desactivar Edit... Iniciar Vista				
Actualización masiva				
Nombre	Tipo	Organización	Función en el proyecto	
 Cabina 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Cabina 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Base 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Base 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Base 3, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Cola 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Cola 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Cola 3, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Medio 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Medio 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Medio 3, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje Medio 4, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Fuselaje, Manager	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Perez, Juan	Persona	Proyecto Fin de Master	Jefe de programa	
 Proyecto, Manager	Persona	Proyecto Fin de Master	Jefe de proyecto	
 Rotor Principal 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotor Principal 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotor Principal 3, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotor Secundario 1, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotor Secundario 2, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotor Secundario 3, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	
 Rotores, Designer	Persona	Proyecto Fin de Master	Ingeniero de diseño	

Figura 6.13: Listado del personal del proyecto

6.5. Creación de los productos físicos

Esta tarea recae en las manos de los distintos jefes de equipo del proyecto. En primer lugar, se tiene que crear una pieza a la cual se le asigna un producto físico. Tras la definición del producto físico se pasa a CATIA, donde se le asocia el componente correspondiente al producto físico. Este proceso se realiza dentro del módulo *Assembly Design*.

A continuación, se recogen los pasos principales llevados a cabo.

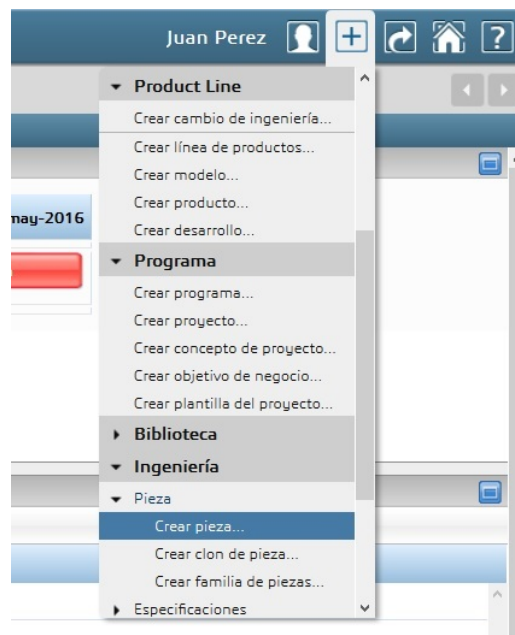


Figura 6.14: Creación de la pieza

Crear pieza	Crear pieza
<p><i>Los campos en rojo y cursiva son obligatorios.</i></p> <p>Tipo Pieza</p> <p>Nombre de la pieza Pieza_ejemplo <input type="checkbox"/> Nombre automático</p> <p>Serie de nombre automático No seleccionado</p> <p>Directiva Pieza de desarrollo</p> <p>Nivel de revisión personalizada A</p> <p>Cantidad de piezas 1</p> <p>Familia de piezas ... Borrar</p>	<p>Unidad de medida EA (por unidad)</p> <p>Peso g</p> <p>Categoría del material Metal</p> <p>Clasificación de piezas Sin asignar</p> <p>Otros atributos</p> <p>Colaboración física Verdadero</p> <p>Título físico Pieza_ejemplo</p>

(a) Propiedades generales

(b) Título físico

Figura 6.15: Propiedades de la pieza

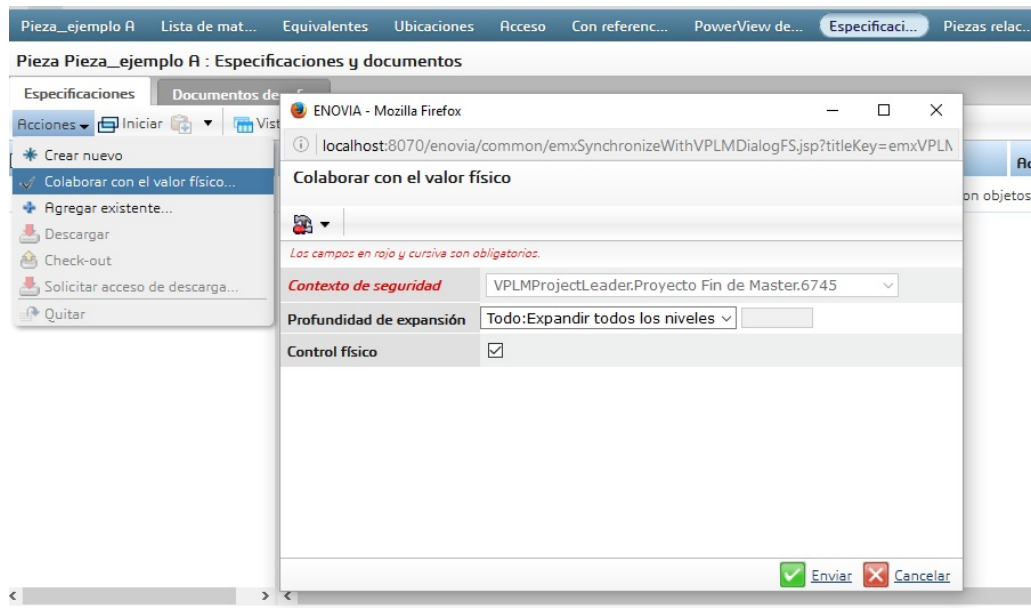


Figura 6.16: Creación del producto físico

Tras crear el producto físico, se busca este dentro de CATIA. Una vez encontrado se abre el módulo *Assembly Design* y se le copia el componente correspondiente. Mediante este procedimiento se consigue mantener la pieza en la posición que tenía de antemano.

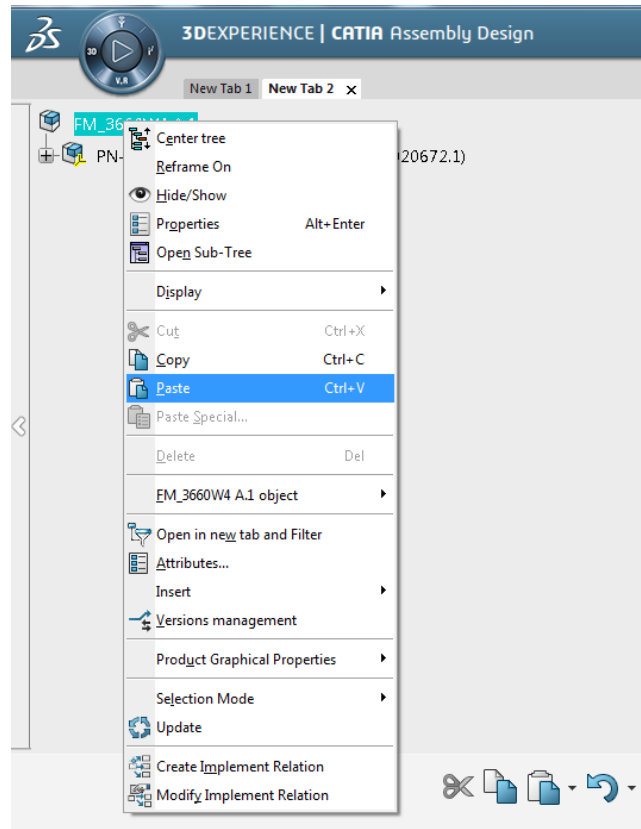


Figura 6.17: Asociación del componente al producto físico

6.6. Asignación de responsabilidades a los miembros del proyecto

El jefe del programa es el encargado, tras la creación de los distintos usuarios, de la incorporación de estos a la plantilla de personal del proyecto. También asigna la función de líder del proyecto al manager del proyecto (MP).

Una vez establecida esta función, el manager del proyecto es quién asigna las siguientes responsabilidades. Para el proyecto en cuestión, asigna la responsabilidad de Manager de diseño de rotores al diseñador de rotores (DR) y la responsabilidad de Manager de diseño del fuselaje al Manager del fuselaje (MF).

Por último, estas personas establecen un jefe de equipo dentro de cada una de las partes anteriormente definidas. Estos jefes de equipo son: DRP 1, DR, DC 1, DFB 1, DFM 1 y DFC 1.

Cada uno de estos miembros tiene la responsabilidad de gestionar la parte o subconjunto para la cual ha sido asignado. Con esta asignación de responsabilidades se consigue que cada miembro del proyecto pueda modificar únicamente la fase o tarea que le ha sido otorgada, aunque puede visualizar el resto del proyecto (permite tener una visión global del proyecto a todos los usuarios).

6.7. Creación de la lista de materiales

En esta sección se define la lista de materiales del proyecto. Esta lista se divide a su vez en varias sublistas para establecer de forma independiente los componentes de los distintos subconjuntos del producto.

6.7.1. Lista de materiales del rotor principal

Los encargados de establecer esta lista de materiales son el equipo del rotor principal y, en particular, el jefe de equipo (DRP 1).

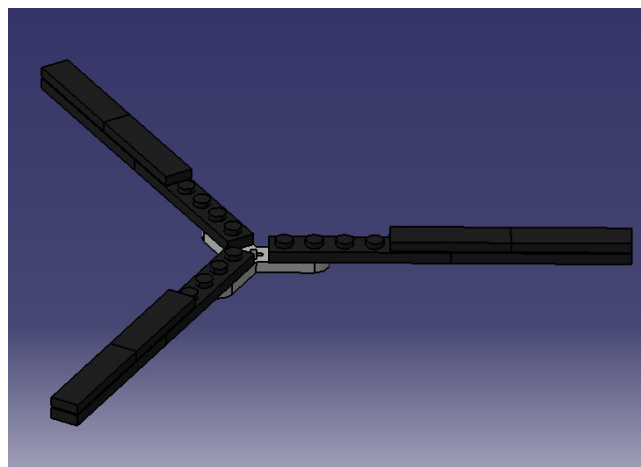


Figura 6.18: Rotor principal

Los componentes que constituyen este subconjunto se recogen en la Figura 6.19.

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Nose cone small 1x1		4589	194 - Medium Stone Grey	1
Flat tile 1x4		2431	26 - Black	6
Plate 1x6		3666	26 - Black	6
Technic rotor, 3 blades		32124	194 - Medium Stone Grey	1

Figura 6.19: Lista de materiales del rotor principal

El subconjunto integrado se puede ver en la Figura 6.18.

6.7.2. Lista de materiales del rotor secundario

En este subconjunto, el equipo encargado de definir la lista de materiales es el de diseño del rotor secundario.

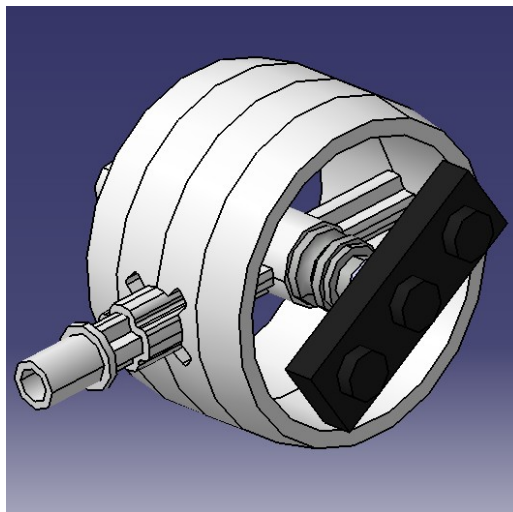


Figura 6.20: Rotor secundario

Los componentes que constituyen este subconjunto se recogen en la Figura 6.21.

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Nose cone small 1x1		4589	194 - Medium Stone Grey	1
Plate 1x3		3623	26 - Black	1
Connector peg		3749	1 - White	1
Crossaxle 3m with knob		6587	199 - Dark Stone Grey	1
Hub $\phi 11,2 \times 7,84$		4265C	194 - Medium Stone Grey	1
Turbine $\phi 31.81 \times 2$		2745	1 - White	1
Linkage		3705	1 - White	1

Figura 6.21: Lista de materiales del rotor secundario

6.7.3. Lista de materiales de la Cabina

El equipo encargado de establecer la lista de materiales de este conjunto es el equipo de diseño de cabina.

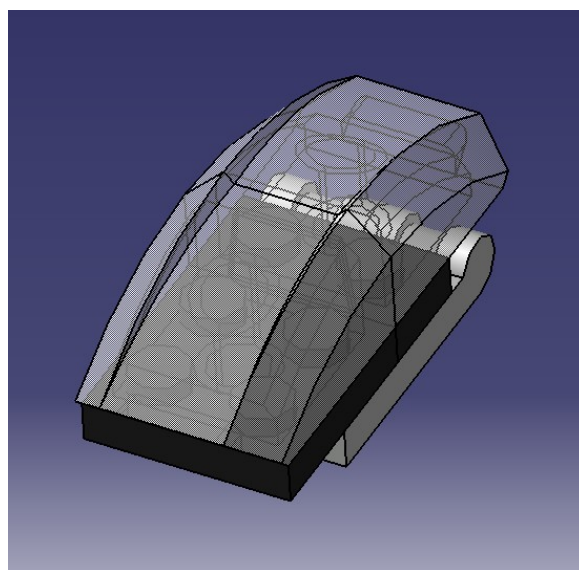


Figura 6.22: Cabina

Los componentes que constituyen este conjunto se recogen en la Figura 6.23.

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Plate 1x2		3023	26 - Black	1
Plate 2x2		3022	26 - Black	1
Plate 1x2 w/shaft ø3.2		60478	199 - Dark Stone Grey	2
Front, 2x2, sport		30602	111 - Tr. Brown	2

Figura 6.23: Lista de materiales de la cabina

6.7.4. Lista de materiales del fuselaje base

Los encargados de establecer esta lista de materiales son el equipo de diseño del fuselaje base y, en particular, el jefe de equipo (DFB 1).

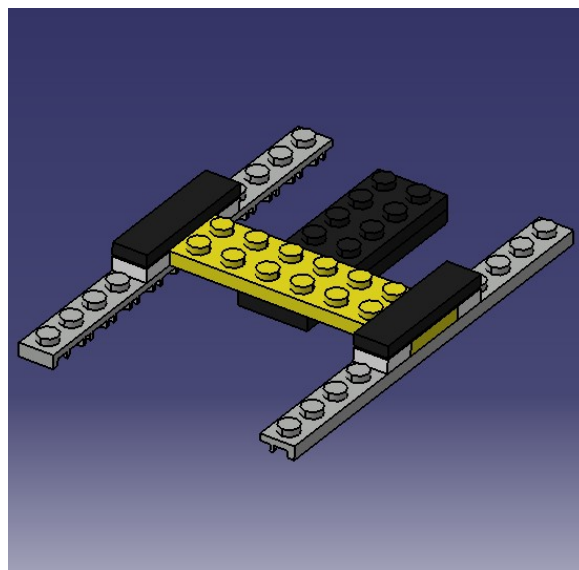


Figura 6.24: Fuselaje base

Los componentes que constituyen este conjunto se recogen en la Figura 6.25.

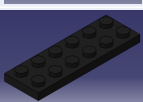
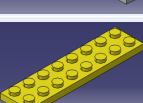
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Plate 1x1		3024	1 – White	4
Flat tile 1x4		2431	26 – Black	2
Plate 2x4		3020	26 – Black	1
Plate 2x6		3795	26 – Black	1
Plate 1x12		60479	194 – Medium Stone Grey	2
Plate 2x8		3034	24 – Bright Yellow	1

Figura 6.25: Lista de materiales del fuselaje base

6.7.5. Lista de materiales del fuselaje medio

Es el conjunto más grande del producto, al que se le integran el resto de subconjuntos. El equipo encargado de establecer su lista de componentes es el de diseño del fuselaje medio.

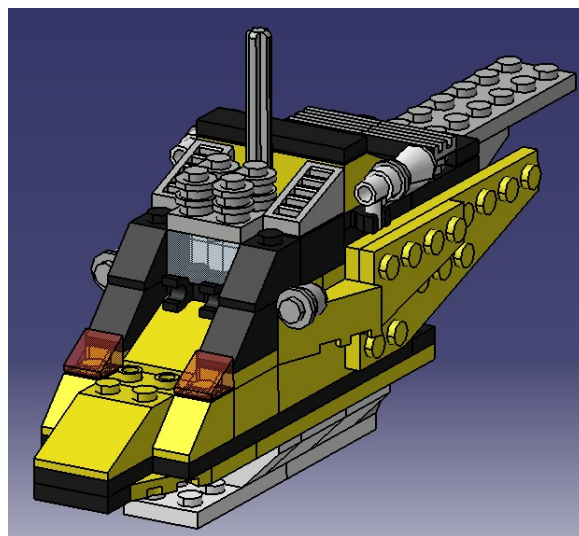


Figura 6.26: Fuselaje medio

Los componentes que constituyen este conjunto se recogen en las siguientes Figuras.







Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Brick 1x1		3005	194 – Medium Stone Grey	2
Brick 1x2		3004	1 - White	1
Brick 1x2		3004	111 – Tr. Brown	1
Brick 1x2		3004	26 - Black	2
Brick 1x4		3010	24 – Bright Yellow	2
Brick 2x4		3001	24 – Bright Yellow	2

Figura 6.27: Lista de materiales del fuselaje medio

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Nose cone small 1x1		4589	1 - White	2
Right roof tile 2x3		6564	24 – Bright Yellow	1
Left roof tile 2x3		6565	24 – Bright Yellow	1
Technic brick 1x2, ø4.9		3700	24 – Bright Yellow	2
Brick 1x2 m. 2 holes ø 4,87		32000	194 – Medium Stone Grey	2
Brick 1x2 m. 2 holes ø 4,87		32000	26 - Black	2

Figura 6.28: Lista de materiales del fuselaje medio


Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Roof tile 1x1x2/3, pc		50746	182 - Tr. Bright Red	2
Roof tile 1x2/45°		3040B	26 - Black	4
Roof tile 1x2/45°		3040B	24 – Bright Yellow	2
Roof tile 1x2 inv.		3665	1 - White	2
Roof tile 1x3/25° inv.		4287	194 – Medium Stone Grey	2
Roof tile 2x2/45°		3039	1 - White	1

Figura 6.29: Lista de materiales del fuselaje medio

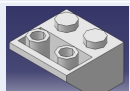
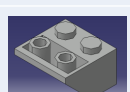



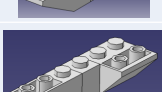
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Roof tile 2x2/45 inv.		3660	1 - White	4
Roof tile 2x2/45 inv.		3660	194 – Medium Stone Grey	1
Roof tile 2x3/25°		3298	24 – Bright Yellow	4
Roof tile 2x3/25° inv.		3747	24 – Bright Yellow	1
Right shell 2x6w/bow/angle,inv		41764	1 - White	1
Left shell 2x6w/bow/angle,inv		41765	1 - White	1

Figura 6.30: Lista de materiales del fuselaje medio

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Flat tile 1x1		3070B	26 - Black	2
Plate 1x1		3024	24 – Bright Yellow	2
Radiator grille 1x2		2412B	194 – Medium Stone Grey	2
Roof tile w. lattice 1x2x2/3		2412M	194 – Medium Stone Grey	2
Plate 1x2		3023	24 – Bright Yellow	2
Plate 1x2		3023	26 - Black	3

Figura 6.31: Lista de materiales del fuselaje medio

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Flat tile 1x4		2431	26 - Black	2
Plate 1x3		3623	194 – Medium Stone Grey	2
Plate 1x3		3623	26 - Black	4
Plate 2x2		3022	194 – Medium Stone Grey	3
Plate 2x2		3022	26 - Black	2
Plate 2x2		3022	24 – Bright Yellow	2

Figura 6.32: Lista de materiales del fuselaje medio

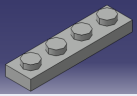
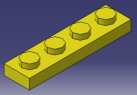
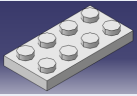
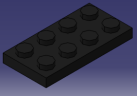
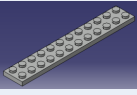
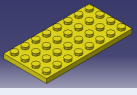
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Plate 1x4		3710	194 – Medium Stone Grey	1
Plate 1x4		3710	24 – Bright Yellow	1
Plate 2x4		3020	1 – White	2
Plate 2x4		3020	26 – Black	3
Plate 2x12		2445	194 – Medium Stone Grey	1
Plate 4x8		3035	24 – Bright Yellow	1

Figura 6.33: Lista de materiales del fuselaje medio

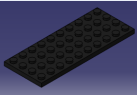
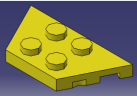
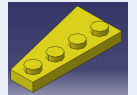
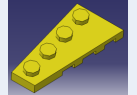
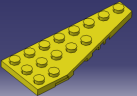
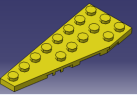
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Plate 4x10		3030	26 – Black	1
Plate 2x4x18°		51739	24 – Bright Yellow	1
Right plate 2x4 w/angle		41769	24 – Bright Yellow	1
Left plate 2x4 w/angle		41770	24 – Bright Yellow	1
Right plate 3x8 w/angle		50304	24 – Bright Yellow	1
Left plate 3x8 w/angle		50305	24 – Bright Yellow	1

Figura 6.34: Lista de materiales del fuselaje medio

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Plate 1x1 round		4073	194 – Medium Stone Grey	18
Tap $\varnothing 4.9/6.4$		4735	1 – White	2
Plate 1x1 w/holder vertical		4085C	26 - Black	2
Coupling plate 2x2		3176	24 – Bright Yellow	1
Lamp holder		4081B	194 – Medium Stone Grey	2
Plate 1x1 w/holder horizontal		6019	26 - Black	2

Figura 6.35: Lista de materiales del fuselaje medio

Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Angle element, 0 degrees [1]		32013	194 – Medium Stone Grey	1
Rotor shaft		3707	194 – Medium Stone Grey	1
Round brick 1x1		3062B	199 - Dark Stone Grey	2
Technic bearing plate 2x2		2444	199 - Dark Stone Grey	1
Wall element 1x2x1		4865	194 – Medium Stone Grey	2

Figura 6.36: Lista de materiales del fuselaje medio

6.7.6. Lista de materiales del fuselaje cola

Los encargados de establecer esta lista de materiales son el equipo de diseño del fuselaje cola y, en particular, el jefe de equipo (DFC 1).

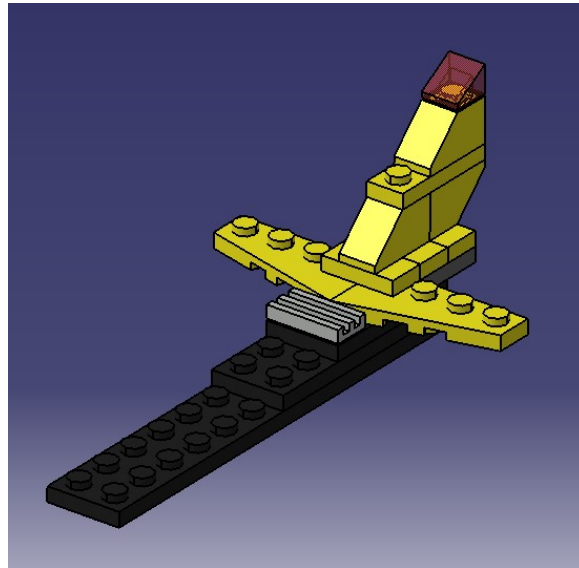


Figura 6.37: Fuselaje cola

Los componentes que constituyen este conjunto se recogen en las Figuras 6.38 y 6.39.

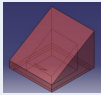
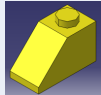
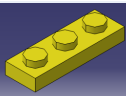
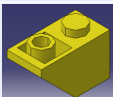
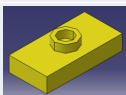
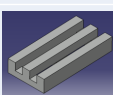
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Roof tile 1x1x2/3, pc		50746	41 – Tr. Red	1
Roof tile 1x2/45°		3040B	24 – Bright Yellow	2
Plate 1x3		3623	24 – Bright Yellow	1
Roof tile 1x2 inv.		3665	24 – Bright Yellow	1
Plate 1x2 w. 1 knob		3794	24 – Bright Yellow	3
Radiator grille 1x2		2412B	194 – Medium Stone Grey	1

Figura 6.38: Lista de materiales del fuselaje cola

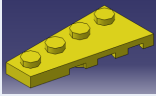
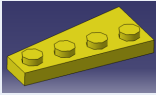
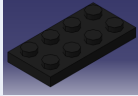
Nombre	Imagen	Parte	Color	Cantidad
Left plate 2x4 w/angle		41770	24 – Bright Yellow	1
Right plate 2x4 w/angle		41769	24 – Bright Yellow	1
Technic bearing plate 2x2		2444	199 - Dark Stone Grey	1
Plate 2x4		3020	26 - Black	1
Plate 2x6		3795	26 - Black	1
Plate 2x12		2445	26 - Black	1

Figura 6.39: Lista de materiales del fuselaje cola

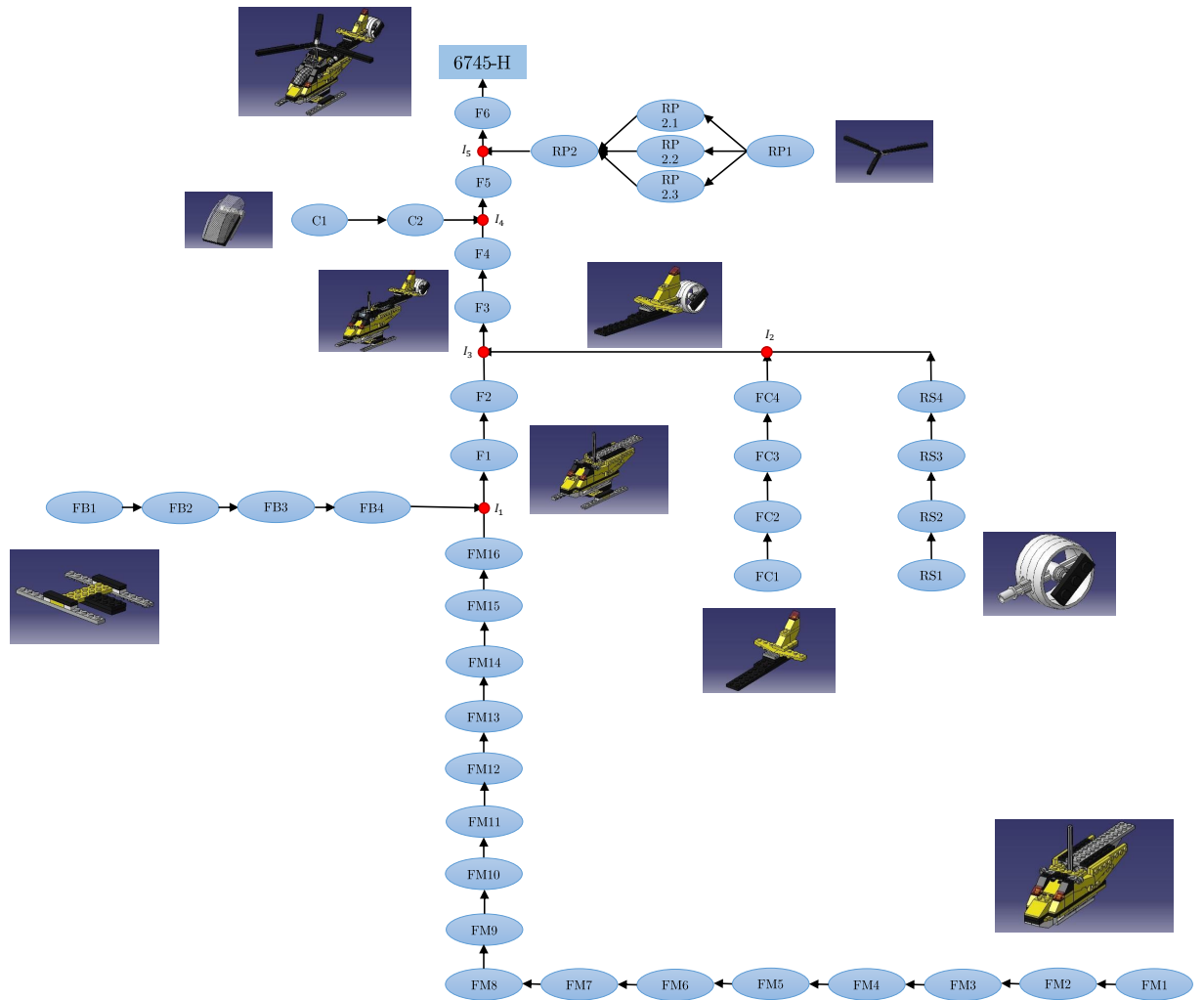
6.8. Estructura de fabricación



























En esta sección se desarrolla la secuencia de fabricación empleada para el ensamblado completo del helicóptero 6745-H. Está formada, a su vez, por tres subestructuras relacionadas: productos, procesos y recursos.

La estructura de fabricación definida presenta la configuración mostrada en la siguiente figura. Existe una línea de ensamblado principal (desarrollo del fuselaje medio) a la que se conectan otras líneas con menos etapas de integración. Estas líneas secundarias se corresponden con el ensamblado del tren de aterrizaje, cola, rotor secundario, cabina y rotor principal.

La nomenclatura empleada para definir las etapas de fabricación es la siguiente:

- FMX. Etapa X de la fabricación del fuselaje medio.
- FBX. Etapa X de la fabricación del fuselaje base.
- FCX. Etapa X de la fabricación del fuselaje cola.
- RSX. Etapa X de la fabricación del rotor secundario.
- CX. Etapa X de la fabricación de la cabina.
- RPX. Etapa X de la fabricación del rotor principal.
- FX. Etapa X de la fabricación del fuselaje (línea de ensamblado final).



													Estimado			Real							
Nivel	Nombre				Tipo	Id.		Estado	%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción			
1	FABRICACIÓN				Fase			Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Perez Gonzalez, Juan	Obligatoria			Se define la estructura de fabricacion.			
2	F6				Tarea	52		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1	-			
3	I5				Tarea	53		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1	-			
4	F5				Tarea	54		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1	-			
5	I4				Tarea	55		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1	-			
6	F4				Tarea	56		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1	-			
7	F3				Tarea	57		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1	-			
8	I3				Tarea	58		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1	-			
9	F2				Tarea	59		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
10	F1				Tarea	60		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
11	I1				Tarea	61		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
12	FM16				Tarea	62		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
13	FM15				Tarea	63		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
14	FM14				Tarea	64		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
15	FM13				Tarea	65		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
16	FM12				Tarea	66		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
17	FM11				Tarea	67		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
18	FM10				Tarea	68		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
19	FM9				Tarea	69		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
20	FM8				Tarea	70		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
21	FM7				Tarea	71		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	-			
22	FM6				Tarea	72		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1	-			
23	FM5				Tarea	73		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1	-			
24	FM4				Tarea	74		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1	-			
25	FM3				Tarea	75		Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1	-			

Nivel	Nombre	Tipo	Id.	Estado	%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
26	FM2	Tarea	76	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1	-
27	FM1	Tarea	77	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1	-
27	FM1_elementos	Tarea	78	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.2	-
26	FM2_elementos	Tarea	79	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2	-
25	FM3_elementos	Tarea	80	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.2	-
24	FM4_elementos	Tarea	81	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .2	-
23	FM5_elementos	Tarea	82	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1.2	-
22	FM6_elementos	Tarea	83	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.2	-
21	FM7_elementos	Tarea	84	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.2	-
20	FM8_elementos	Tarea	85	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.2	-
19	FM9_elementos	Tarea	86	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.2	-
18	FM10_elementos	Tarea	87	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2	-
17	FM11_elementos	Tarea	88	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .1.2	-
16	FM12_elementos	Tarea	89	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.1 .2	-
15	FM13_elementos	Tarea	90	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.1.1.2	-
14	FM14_elementos	Tarea	91	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.1.2	-
13	FM15_elementos	Tarea	92	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.2	-
12	FM16_elementos	Tarea	93	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.1.2	-
11	I1_elementos	Tarea	94	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2	-
12	FB4	Tarea	95	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1	-
13	FB3	Tarea	96	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.1	-
14	FB2	Tarea	97	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.1.1	-

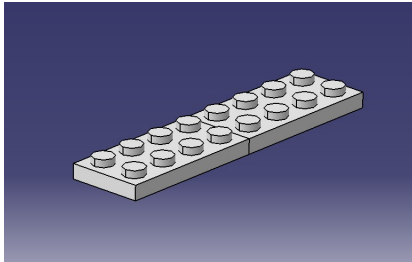
Nivel	Nombre	Tipo	Id.	Estado	%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
15	FB1	Tarea	98	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.1.1.1	-
15	FB1_elementos	Tarea	99	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.1.1.2	-
14	FB2_elementos	Tarea	100	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.1.2	-
13	FB3_elementos	Tarea	101	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.1.2	-
12	FB4_elementos	Tarea	102	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.1.2.2	-
10	F1_elementos	Tarea	103	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .1.2	-
9	F2_elementos	Tarea	104	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.1 .2	-
8	I3_elementos	Tarea	105	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2	-
9	I2	Tarea	106	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1	-
10	FC4	Tarea	107	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1	-
11	FC3	Tarea	108	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.1	-
12	FC2	Tarea	109	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.1.1	-
13	FC1	Tarea	110	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.1.1.1	-
13	FC1_elementos	Tarea	111	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.1.1.2	-
12	FC2_elementos	Tarea	112	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.1.2	-
11	FC3_elementos	Tarea	113	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.1.2	-
10	FC4_elementos	Tarea	114	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .1.2	-
9	I2_elementos	Tarea	115	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2	-
10	RS4	Tarea	116	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1	-
11	RS3	Tarea	117	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.1	-
12	RS2	Tarea	118	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.1.1	-
13	RS1	Tarea	119	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.1.1.1	-
13	RS1_elementos	Tarea	120	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.1.1.2	-
12	RS2_elementos	Tarea	121	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.1.2	-
11	RS3_elementos	Tarea	122	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.1.2	-
10	RS4_elementos	Tarea	123	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.1.2 .2.2	-
7	F3_elementos	Tarea	124	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.1.2	-
6	F4_elementos	Tarea	125	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2	-
5	I4_elementos	Tarea	126	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2	-
6	C2	Tarea	127	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2.1	-
7	C1	Tarea	128	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2.1.1	-
7	C1_elementos	Tarea	129	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2.1.2	-

Nivel	Nombre	Tipo	Id.	Estado	%	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin	Propietario	Requisito de tarea	Función en el proyecto	EDT	Descripción
6	C2_elementos	Tarea	130	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.1.2.2	-
4	F5_elementos	Tarea	131	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.1.2	-
3	I5_elementos	Tarea	132	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.2	-
4	RP2	Tarea	133	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.2.1	-
5	RP1	Tarea	134	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.2.1.1	-
4	RP2_elementos	Tarea	135	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.1.2.2	-
2	F6_elementos	Tarea	136	Crear	0.0	0.0 Días	15-jun-16	15-jun-16	0.0			Fuselaje, Manager	Obligatoria		3.2	-

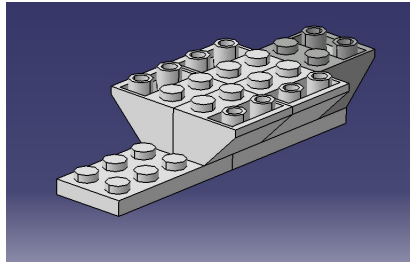
A continuación se procede a analizar por separado cada una de las líneas de fabricación existentes.

6.8.1. Fases del fuselaje medio

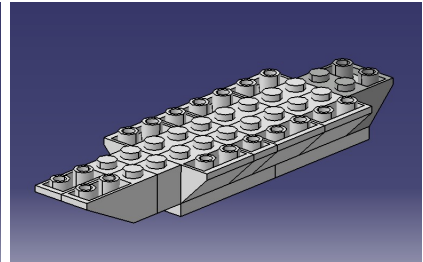
Es la línea de integración más compleja y por tanto es la primera que debe iniciarse. Hasta la integración del fuselaje base existen 16 fases intermedias, que se muestran en lo que sigue.



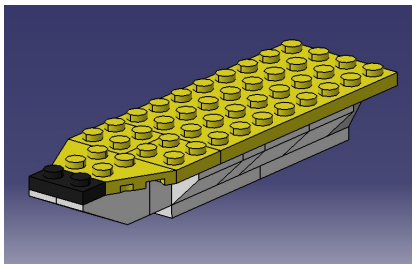
(a) Etapa de fabricación 1



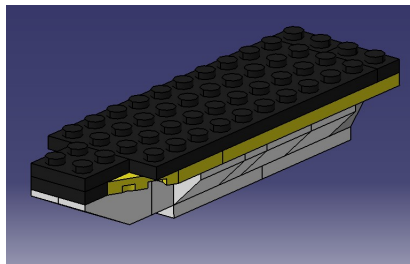
(b) Etapa de fabricación 2



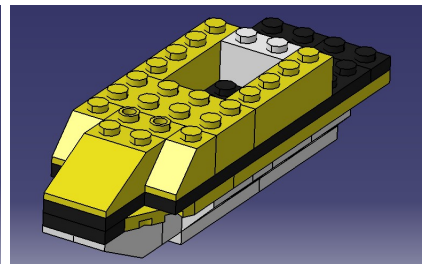
(c) Etapa de fabricación 3



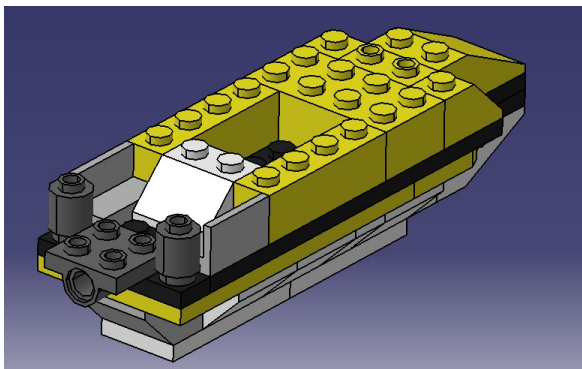
(d) Etapa de fabricación 4



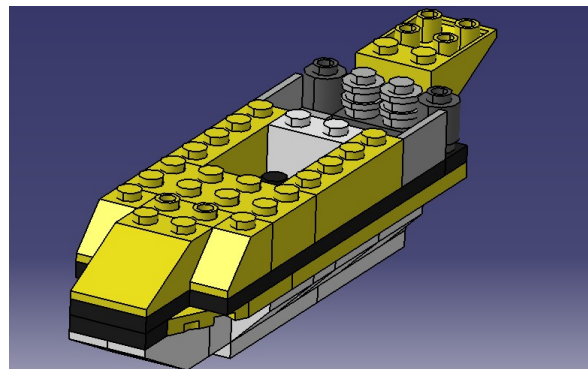
(e) Etapa de fabricación 5



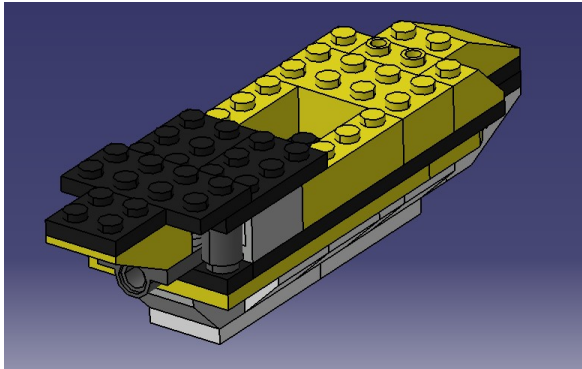
(f) Etapa de fabricación 6



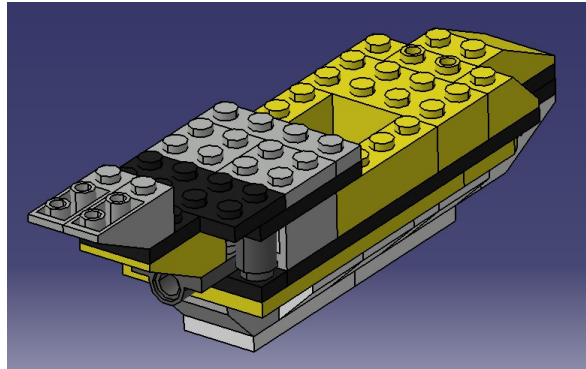
(g) Etapa de fabricación 7



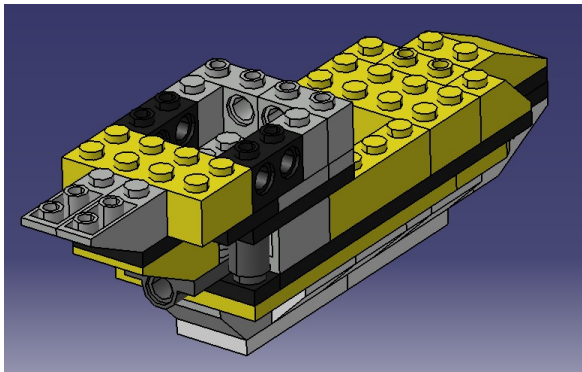
(h) Etapa de fabricación 8



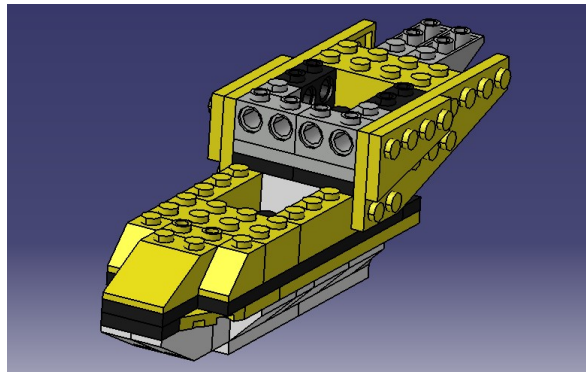
(i) Etapa de fabricación 9



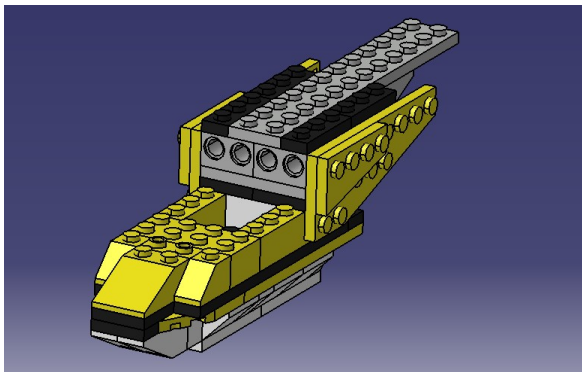
(j) Etapa de fabricación 10



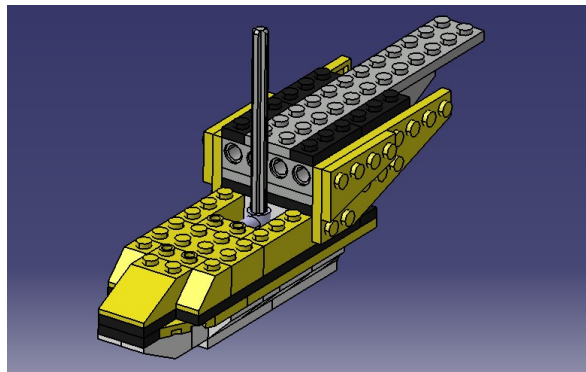
(k) Etapa de fabricación 11



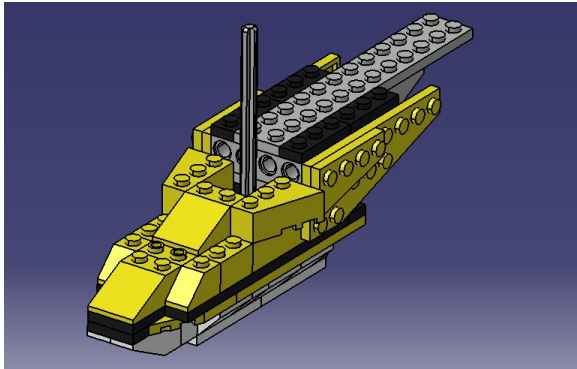
(l) Etapa de fabricación 12



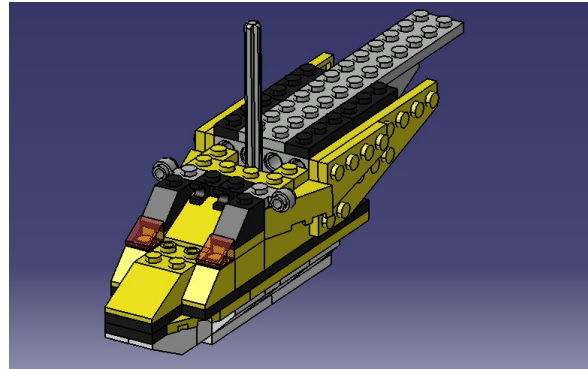
(m) Etapa de fabricación 13



(n) Etapa de fabricación 14



(ñ) Etapa de fabricación 15

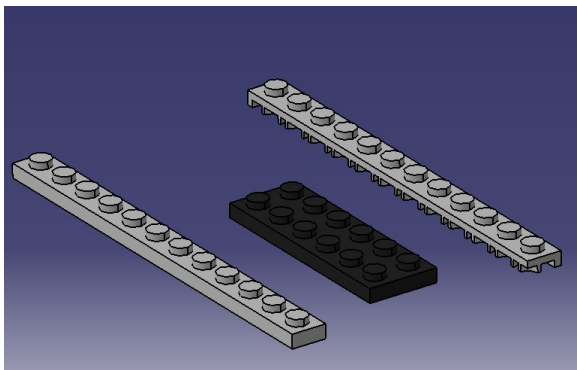


(o) Etapa de fabricación 16

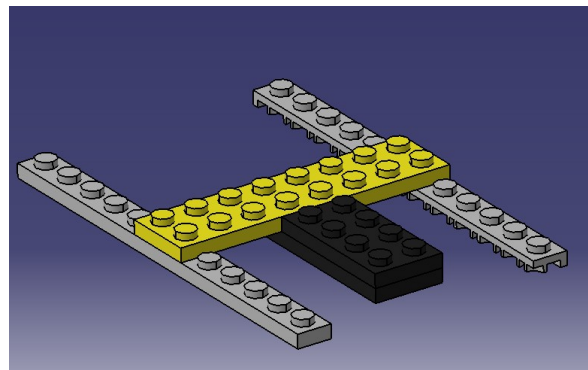
Figura 6.40: Etapas de fabricación del fuselaje medio

6.8.2. Fases del fuselaje base

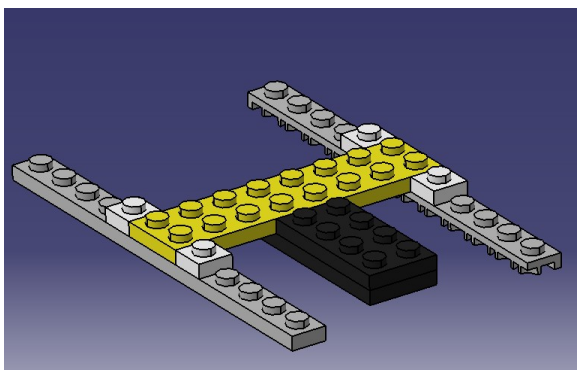
Este subconjunto tiene únicamente 4 etapas de fabricación y el ensamblado se realiza en paralelo con el fuselaje medio aunque requiere menos tiempo y puede iniciarse más tarde.



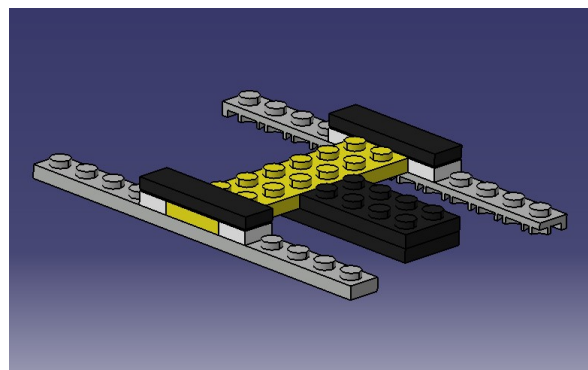
(a) Etapa de fabricación 1



(b) Etapa de fabricación 2



(c) Etapa de fabricación 3



(d) Etapa de fabricación 4

Figura 6.41: Etapas de fabricación del fuselaje base

Llegados a este punto se procede a integrar ambos fuselajes.

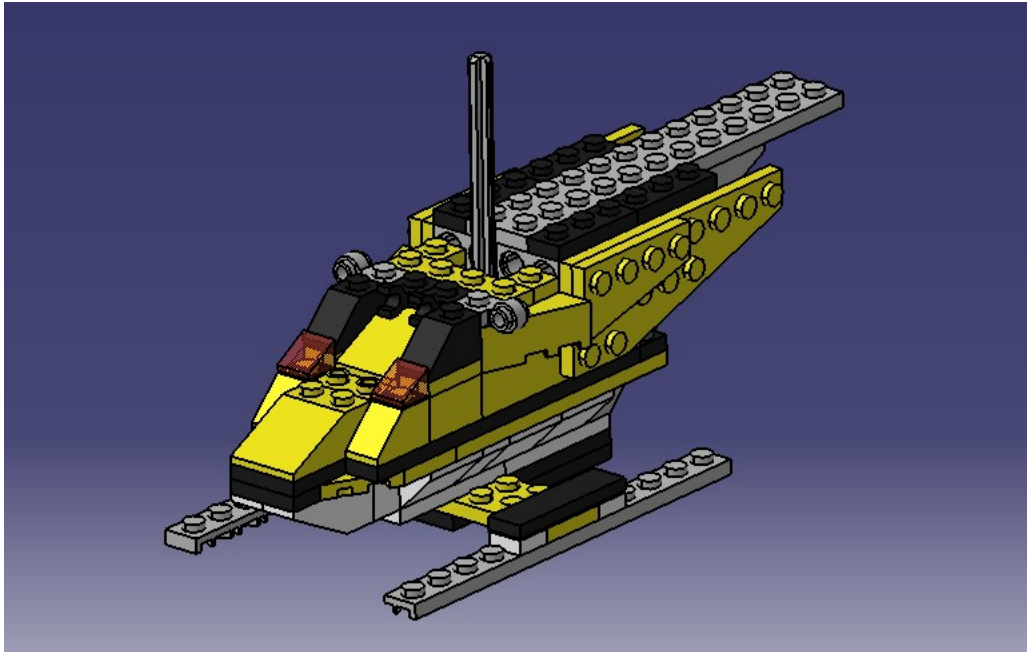
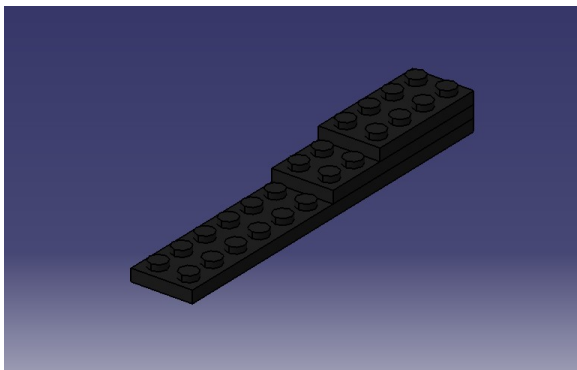


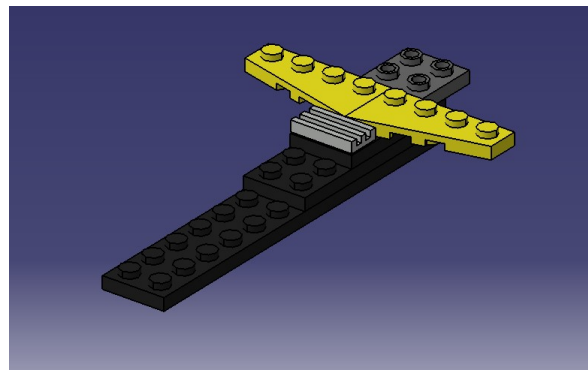
Figura 6.42: Integración de los fuselajes medio y base

Previamente al análisis de la línea de ensamblado final, se van a desarrollar las etapas de fabricación de los otros subconjuntos que constituyen el producto.

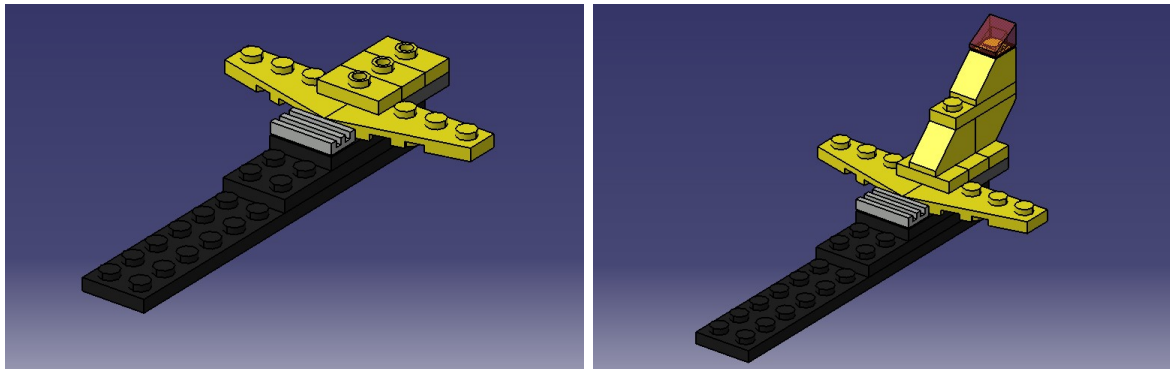
6.8.3. Fases del fuselaje cola



(a) Etapa de fabricación 1



(b) Etapa de fabricación 2

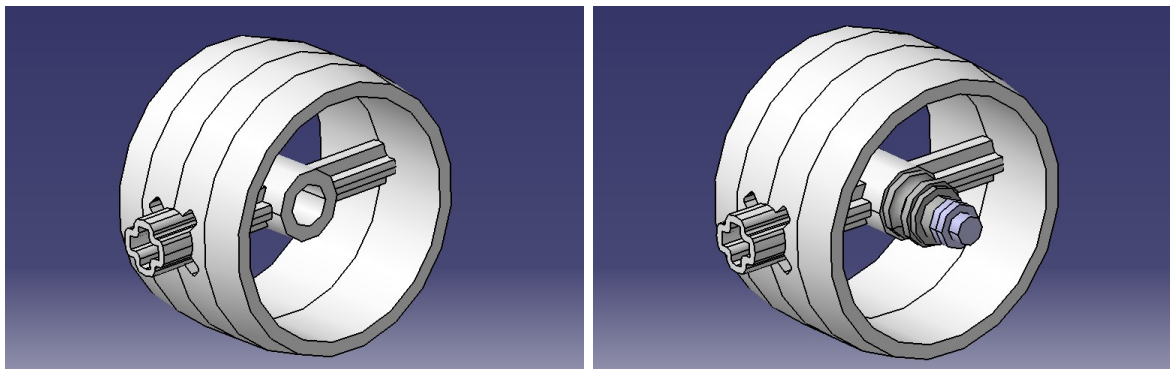


(c) Etapa de fabricación 3

(d) Etapa de fabricación 4

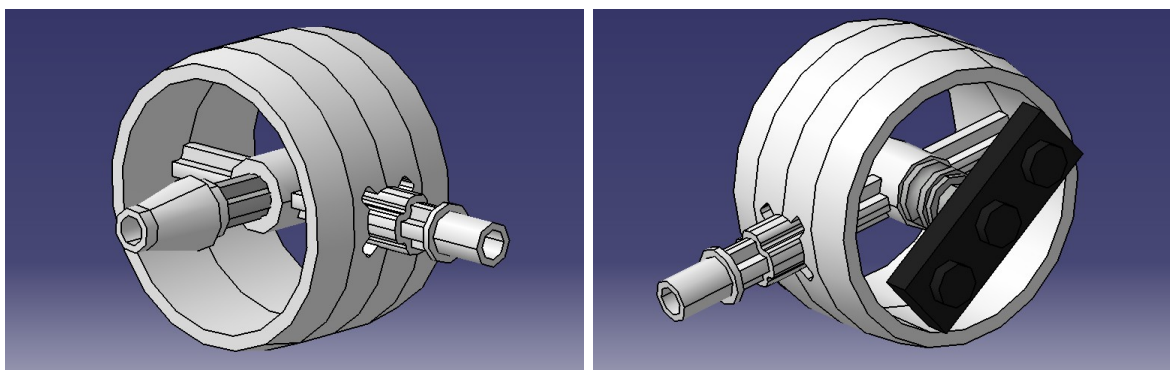
Figura 6.43: Etapas de fabricación del fuselaje cola

6.8.4. Fases del rotor secundario



(a) Etapa de fabricación 1

(b) Etapa de fabricación 2



(c) Etapa de fabricación 3

(d) Etapa de fabricación 4

Figura 6.44: Etapas de fabricación del rotor secundario

Tras la fabricación de forma independiente del rotor secundario y el fuselaje de la cola, se procede a su integración.

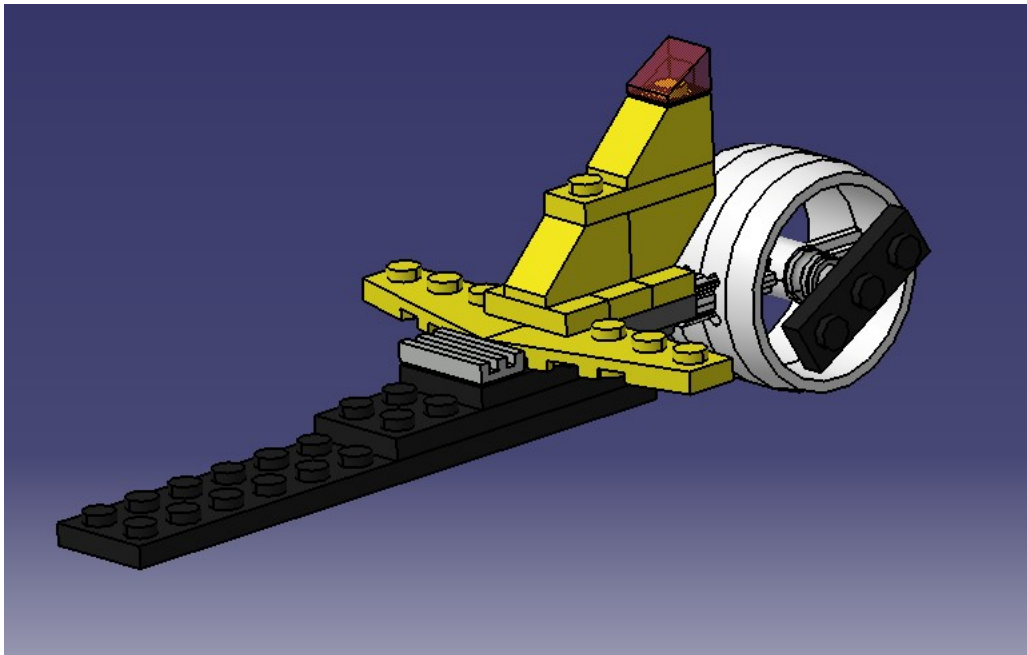
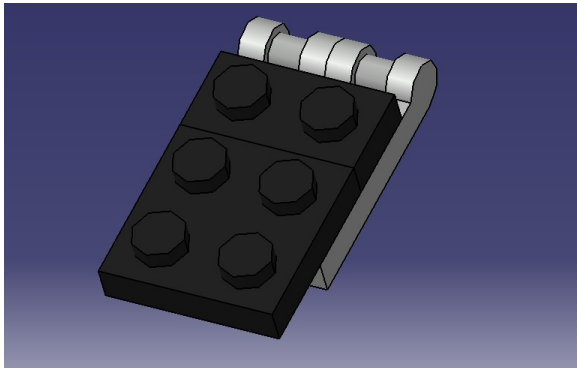


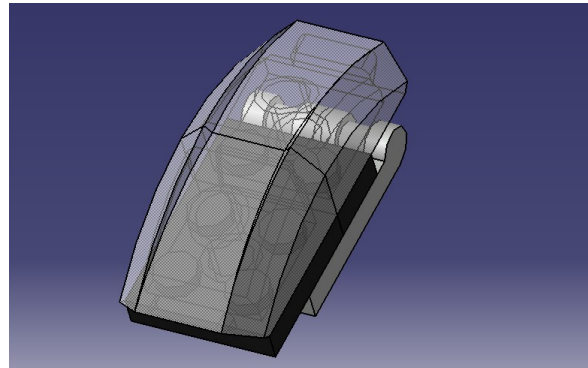
Figura 6.45: Etapa de integración de la cola y el rotor secundario

6.8.5. Fases de la cabina

En primer lugar se posiciona la base de la cabina y posteriormente se añaden los cristales que la recubren.



(a) Etapa de fabricación 1

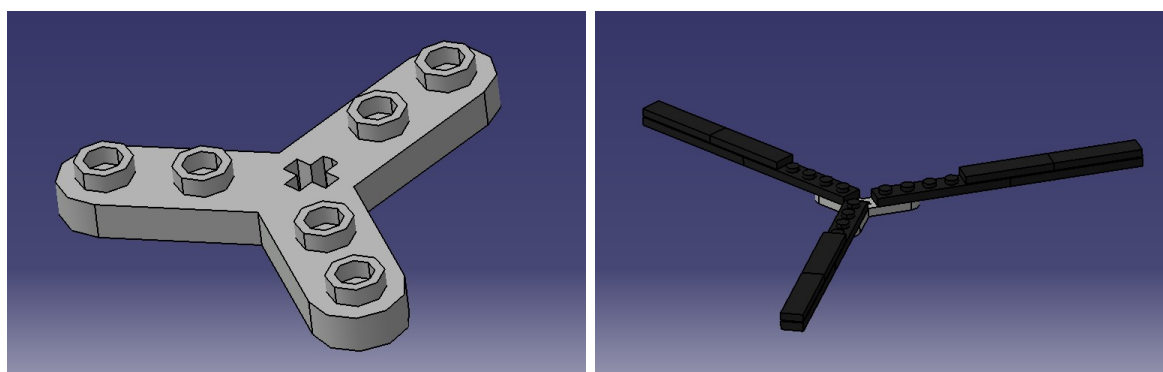


(b) Etapa de fabricación 2

Figura 6.46: Etapas de fabricación de la cabina

6.8.6. Fases del rotor principal

Se coloca el hub o cabeza del rotor y luego se integran las tres hélices.



(a) Etapa de fabricación 1

(b) Etapa de fabricación 2

Figura 6.47: Etapas de fabricación del rotor principal

6.8.7. Fases del fuselaje final

Una vez analizada de forma visual la secuencia de fabricación de las líneas secundarias, se procede a analizar de forma detallada la estructura de fabricación de la línea de ensamblado final.

En primer lugar, se va a desglosar la estructura de producto. Tras definir dicha estructura se estudia cómo agrupar la secuencia en procesos con sus correspondientes operaciones. Por último, se definen los recursos necesarios en cada uno de los procesos.

6.8.7.1. Estructura de productos

Esta estructura está formada por productos físicos que pueden ser componentes individuales o conjuntos ya ensamblados. Para la línea de ensamblado final de este prototipo se tiene el siguiente árbol jerárquico (Figura 6.48).

Se tienen cinco subconjuntos principales (Rotor principal, Cabina, Conjunto de cola, Fuselaje base y medio) y varios complementos que completan la integración del producto final.

La implementación de esta estructura en la herramienta **3DEXPERIENCE** se puede observar en la Figura 6.49. Además de los productos anteriormente comentados se muestran los productos intermedios que se obtienen en este proceso de fabricación final.

Los complementos que se integran a lo largo de esta línea de ensamblado se muestran recogidos en grupos. Estas agrupaciones se han realizado atendiendo a razones de secuenciación y de proximidad en su localización dentro del producto. Un ejemplo de este tipo de agrupaciones se muestra en la Figura 6.50.

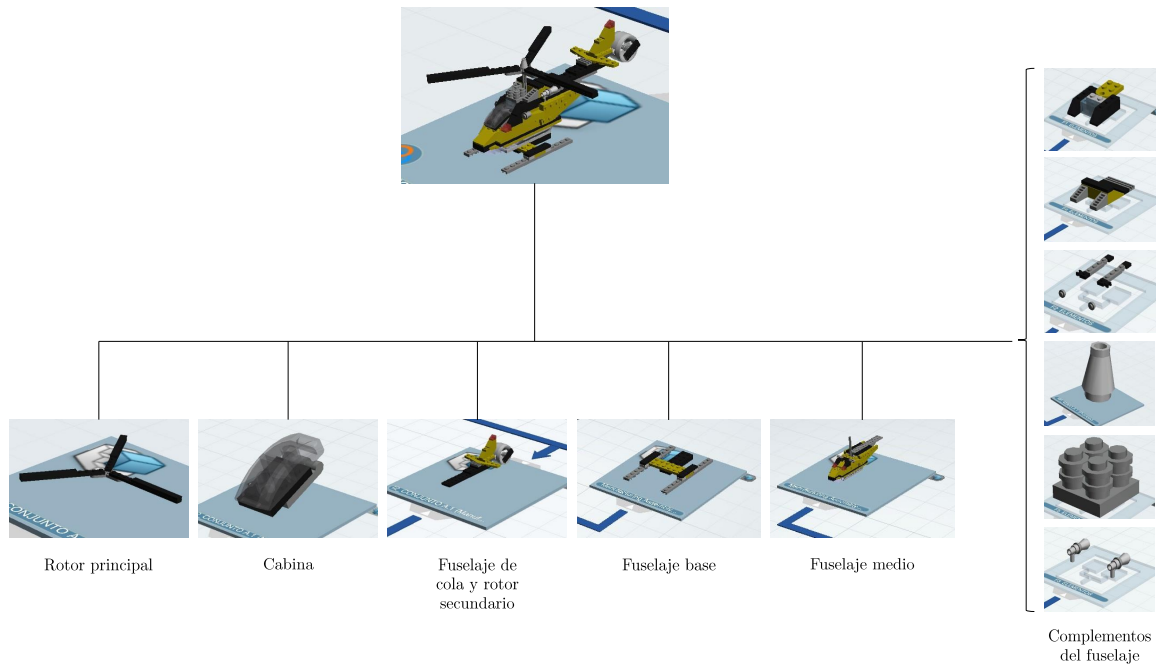


Figura 6.48: Estructura de productos

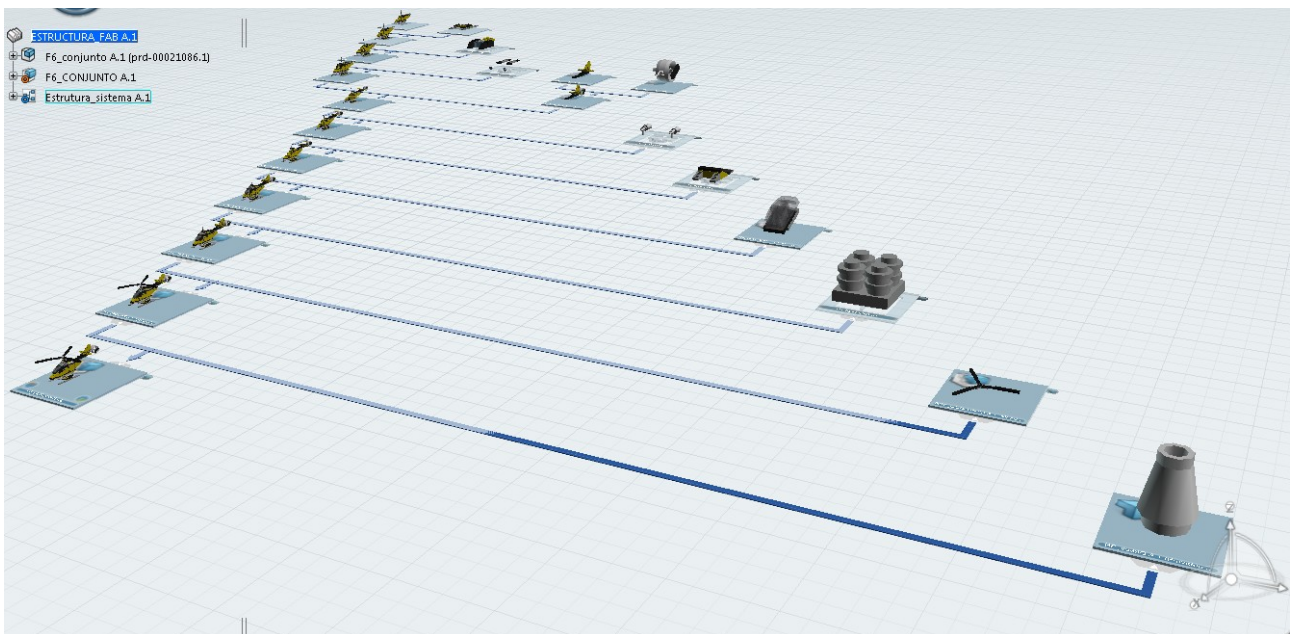


Figura 6.49: Estructura de productos visualizado en 3DEXPERIENCE

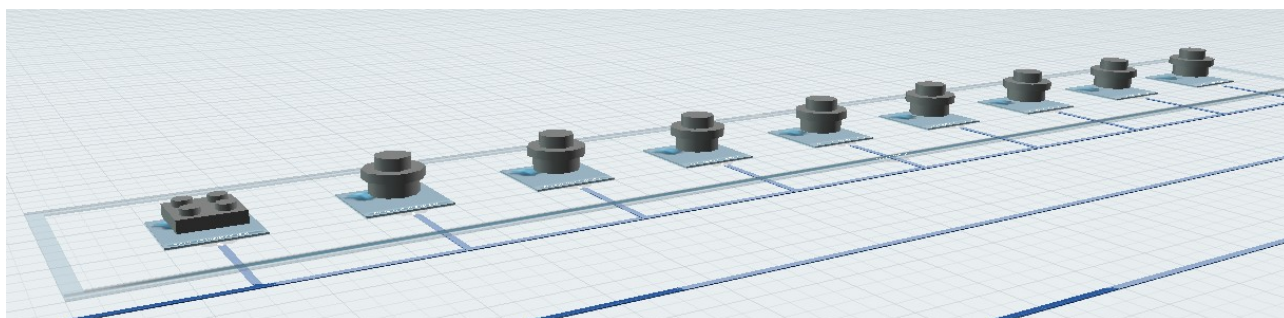


Figura 6.50: Ejemplo de un grupo de componentes

6.8.7.2. Estructura de procesos

En este apartado se define los procesos donde se emplean cada subconjunto o grupo de componentes, así como, la secuencia de operaciones dentro de cada proceso.

En el capítulo 3, se definieron los tipos de procesos principales dentro de una estructura de fabricación. Particularizando para el caso en estudio, se tienen dos tipos de proceso: suministro e integración.

Los procesos de suministro o abastecimiento proporcionan los componentes o subconjuntos necesarios. Este abastecimiento es realizado por parte de los proveedores, que pueden ser internos o externos. Los proveedores internos, que son las otras líneas de ensamblado pertenecientes a la compañía, proporcionan los subconjuntos principales (rotores, fuselaje,...). Por su parte los externos, proporcionan los componentes que complementan el producto final. Estos últimos también podrían fabricarse en la compañía pero suelen subcontratarse.

Por su parte, los procesos de integración se encargan de ensamblar uno o varios elementos generando productos intermedios.

Estos procesos se han agrupado en sistemas o estaciones. En total se tienen 10 estaciones dispuestas en línea de forma correlativa. En lo que sigue se procede a analizar cada una de estas estaciones mostrando la secuencia de operaciones que se realizan en cada una de ellas.

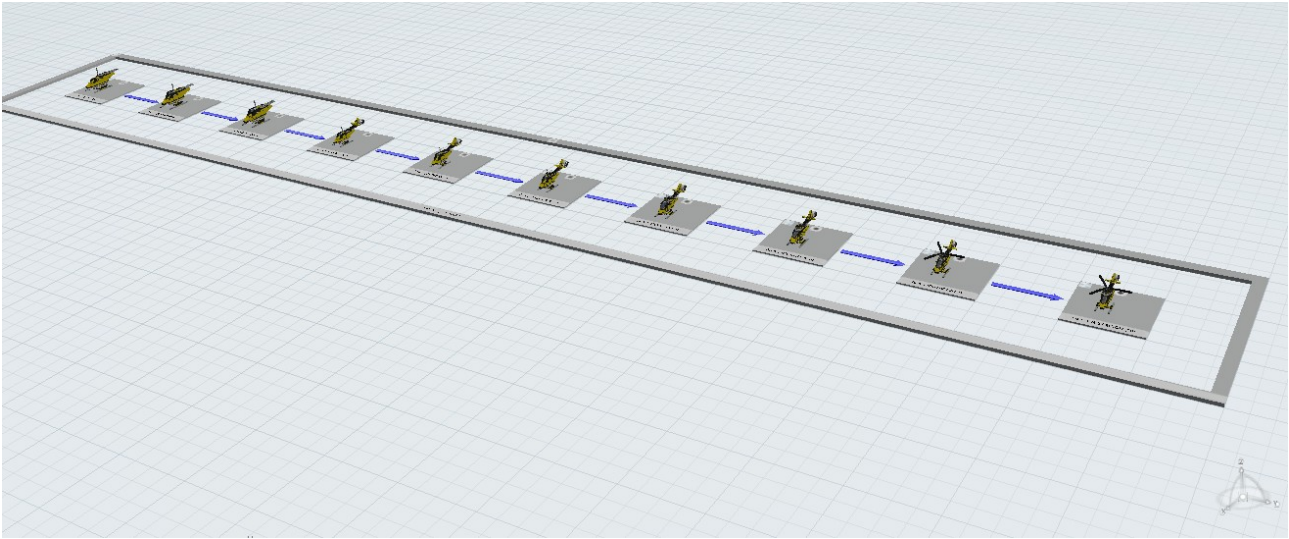
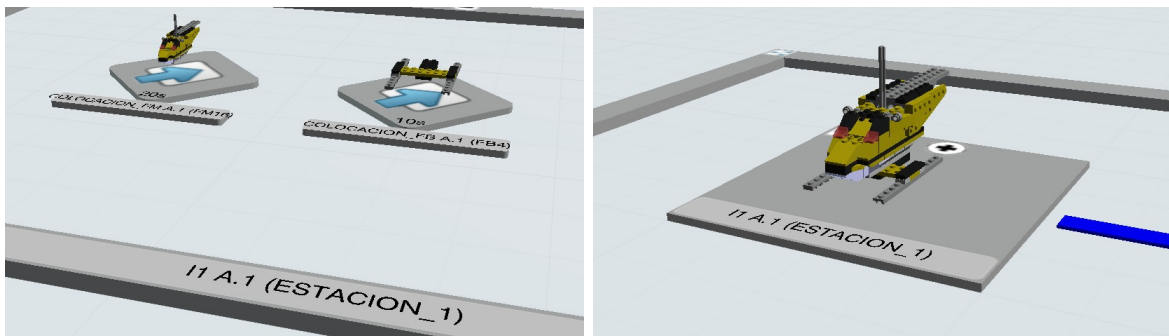


Figura 6.51: Estaciones de la línea de ensamblado

■ Estación 1

En esta primera etapa se tienen dos procesos de suministro y un proceso de integración. Los procesos de suministro proporcionan los subconjuntos del fuselaje base y medio. Por otro lado, el proceso de integración ensambla ambos elementos.

Por tanto, se tienen dos operaciones dentro de esta estación. La primera de ellas permite colocar el fuselaje medio en la localización exacta y la segunda integra el fuselaje base con este.



(a) Elementos iniciales

(b) Producto resultante

Figura 6.52: Estación 1

El diagrama de Gantt resultante en esta estación es el mostrado en la Figura 6.53. Se ha supuesto que la colocación del fuselaje medio implica el doble de tiempo que el posicionamiento del fuselaje base. También se ha establecido una restricción de precedencia entre las dos operaciones, es decir, la operación de colocación del fuselaje base no puede iniciarse antes del posicionamiento del fuselaje medio.

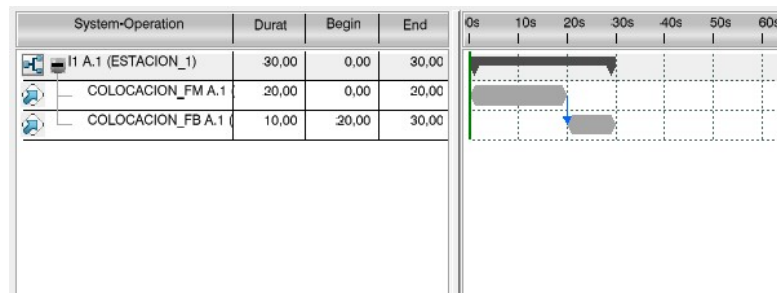


Figura 6.53: Diagrama de Gantt de la estación 1

■ Estación 2

En la segunda estación se le integra al producto resultante de la etapa anterior una serie de complementos. Tanto el fuselaje como estos complementos son considerados como elementos suministrados.

Se desarrollan ocho operaciones, una para colocar el producto intermedio y siete para las integraciones de los complementos.

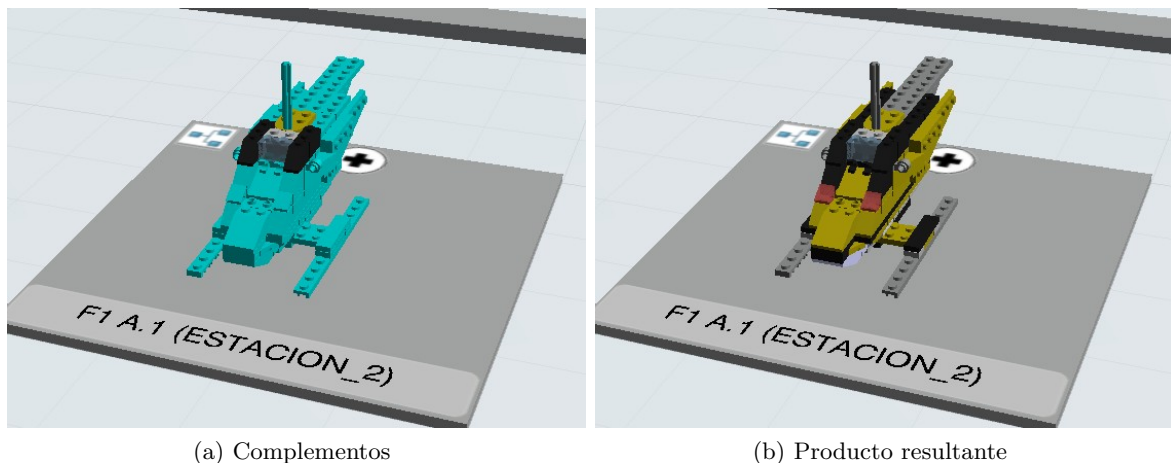


Figura 6.54: Estación 2

El diagrama de Gantt correspondiente a esta estación se puede ver en la Figura 6.55. También se imponen relaciones de precedencia, pero en este caso existen operaciones que pueden realizarse de manera paralela, aquellas que afectan a complementos que son simétricos respecto al plano vertical.

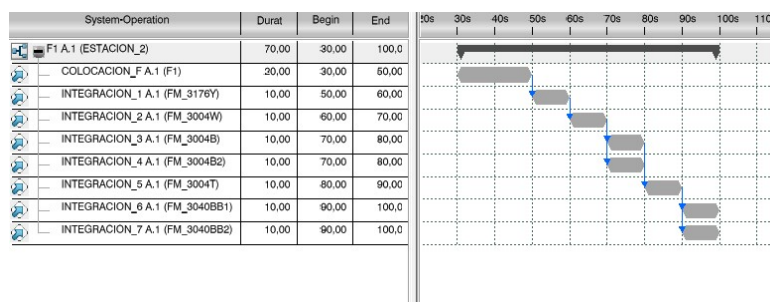


Figura 6.55: Diagrama de Gantt de la estación 2

■ Estación 3

En esta estación, al igual que en la anterior, se le integran al producto intermedio una serie de complementos. Se puede ver que estos son simétricos respecto al plano de simetría del helicóptero, lo que permite que muchas de las operaciones a llevar a cabo se realicen de forma paralela (ver diagrama de Gantt, Figura 6.57).

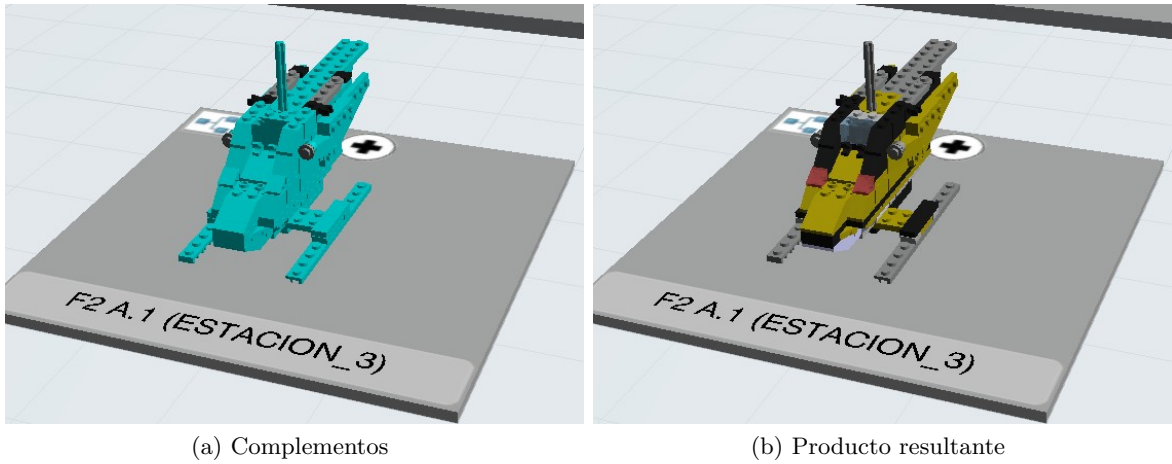


Figura 6.56: Estación 3

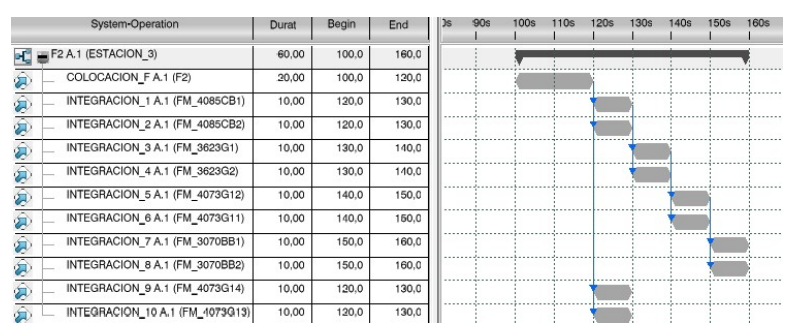


Figura 6.57: Diagrama de Gantt de la estación 3

Se tienen un total de once operaciones, una de colocación del producto principal y diez de integración de componentes.

■ Estación 4

En esta etapa se realiza el ensamblado del subconjunto de cola (fuselaje de cola y rotor secundario) con el producto principal. Se ha supuesto que la integración de este subconjunto conlleva una duración un 25 % inferior a la colocación del fuselaje.

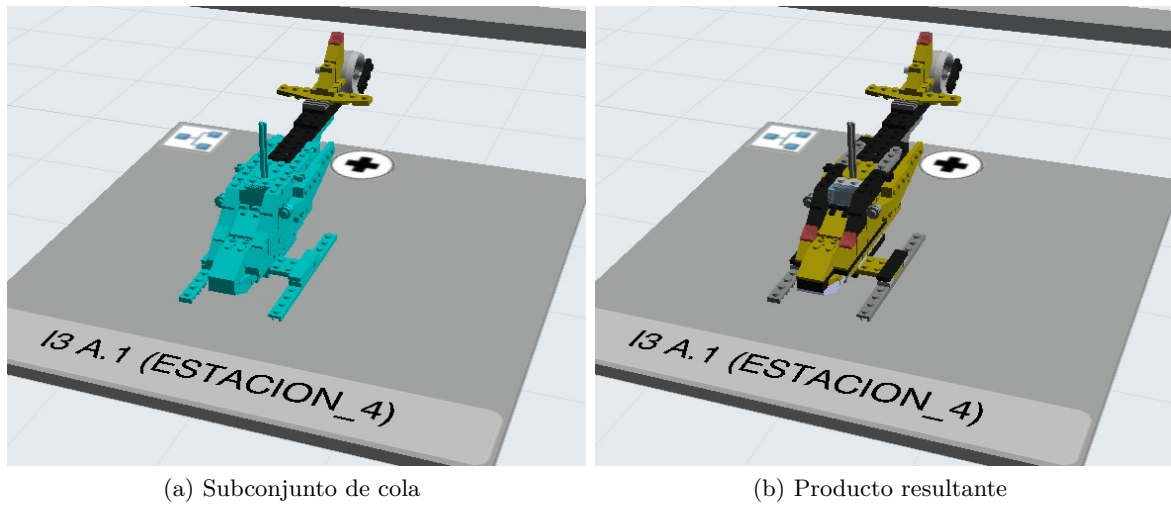


Figura 6.58: Estación 4

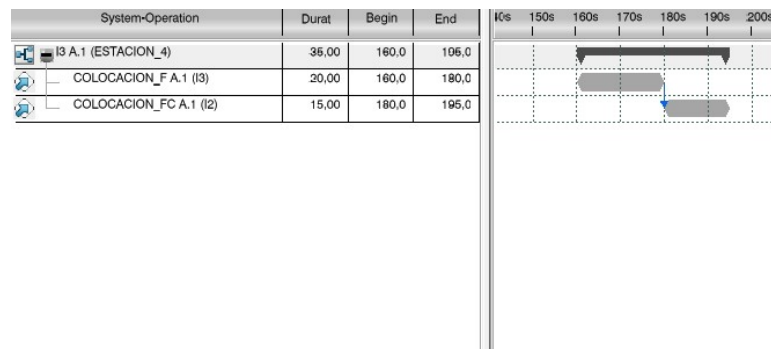


Figura 6.59: Diagrama de Gantt de la estación 4

■ Estación 5

Tras integrar el subconjunto de la cola, se continúan ensamblando distintos componentes que complementan al producto principal.

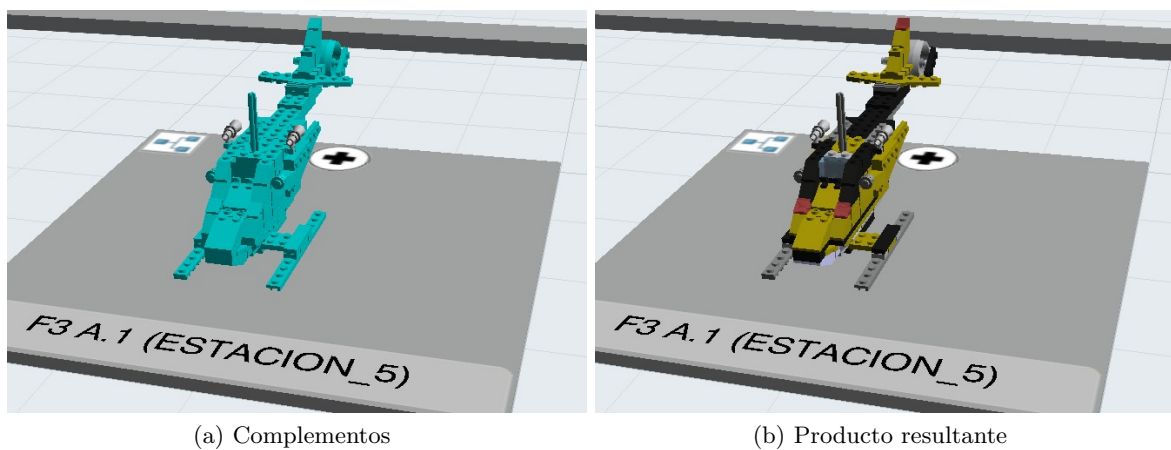


Figura 6.60: Estación 5

Al ser dos complementos idénticos y dispuestos de forma simétrica se colocan simultáneamente.

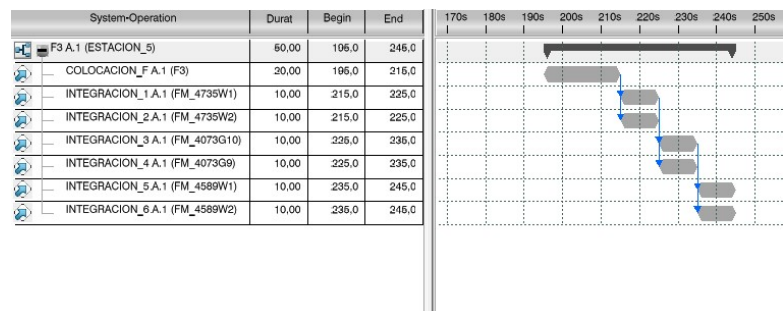


Figura 6.61: Diagrama de Gantt de la estación 5

■ Estación 6

Previamente a la colocación de la cabina, es necesario integrar una serie de complementos (Figura 6.62a). A pesar de que en esta etapa existen componentes que no presentan simetría respecto al plano vertical, se han realizado el mayor número de ensamblados en paralelo como ha sido posible.

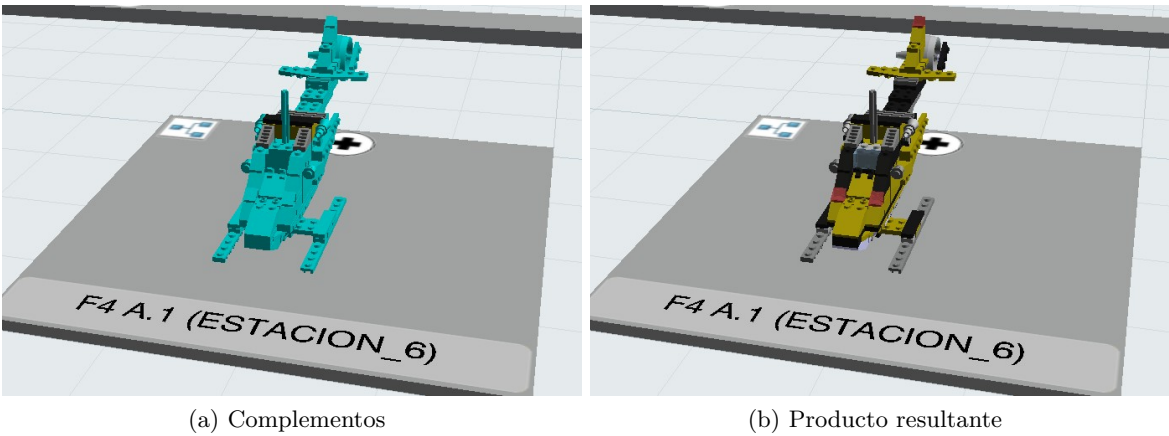


Figura 6.62: Estación 6

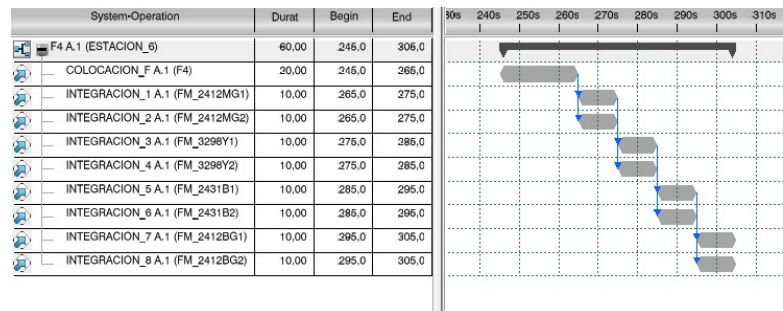


Figura 6.63: Diagrama de Gantt de la estación 6

Se tienen ocho operaciones en total, agrupadas en cuatro espacios temporales.

■ Estación 7

Esta estación recoge la integración de la cabina con el fuselaje principal. Por tanto, se tienen únicamente dos operaciones: colocación del producto intermedio e integración de la cabina. En las siguientes figuras se muestra tanto el resultado de estas operaciones como el diagrama de Gantt correspondiente.

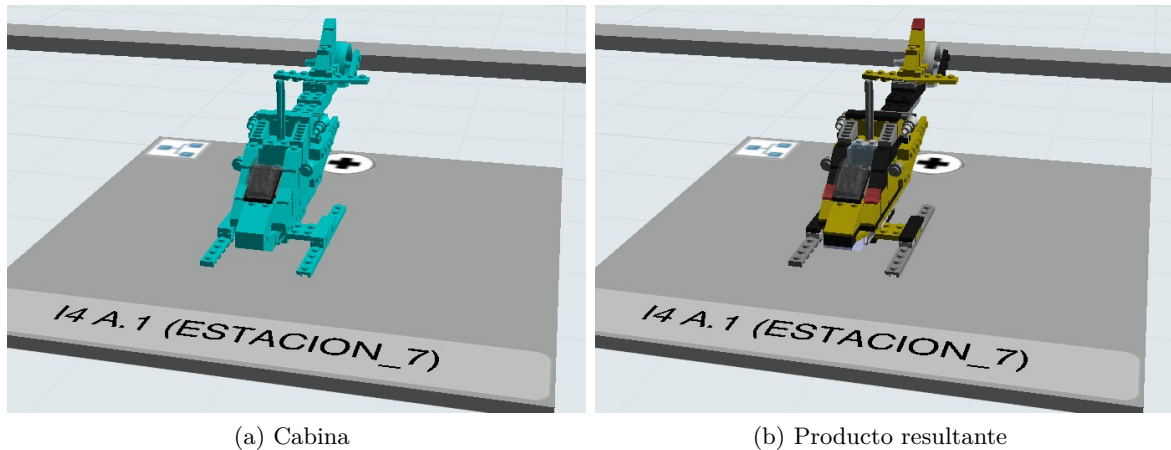


Figura 6.64: Estación 7

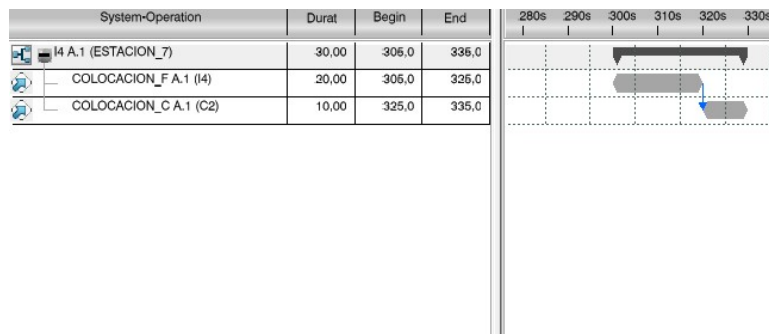


Figura 6.65: Diagrama de Gantt de la estación 7

■ Estación 8

Una vez instalada la cabina, se integran una serie de complementos en la parte superior de esta. En primer lugar, se coloca la base sobre el fuselaje y posteriormente los ocho componentes restantes agrupados en dos periodos temporales.

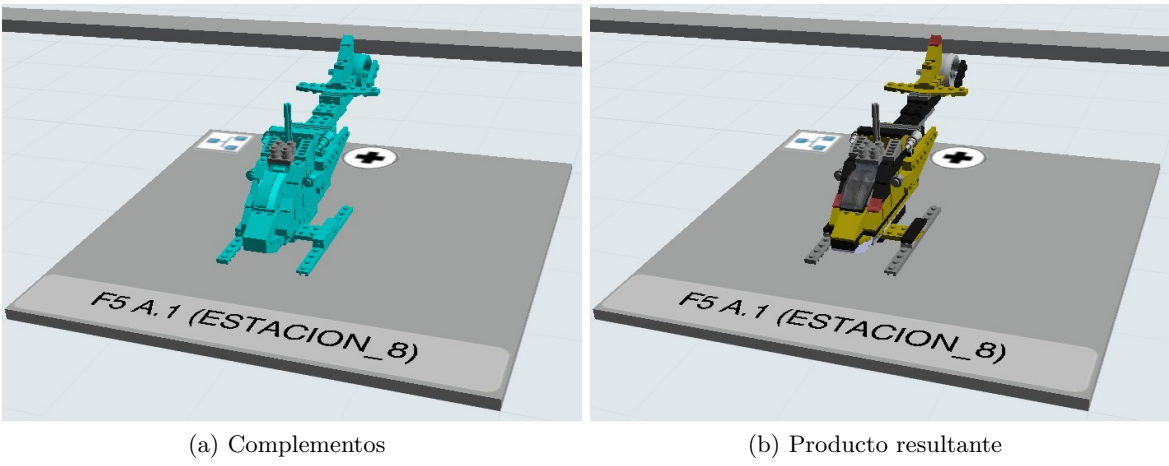


Figura 6.66: Estación 8

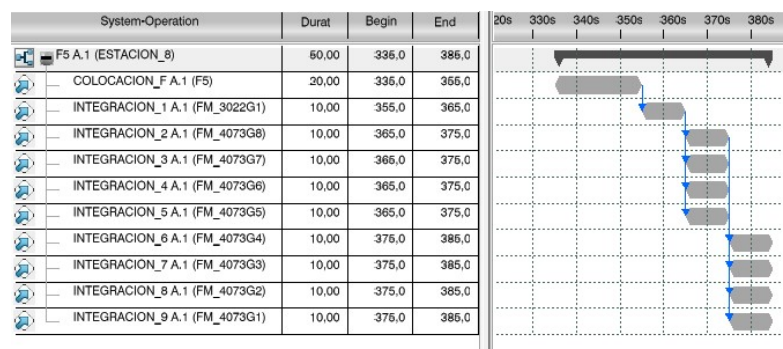


Figura 6.67: Diagrama de Gantt de la estación 8

■ Estación 9

En esta penúltima estación se integran el rotor principal con el fuselaje. Por tanto, se tienen dos operaciones como en el resto de ensamblado de subconjuntos (colocación e integración).

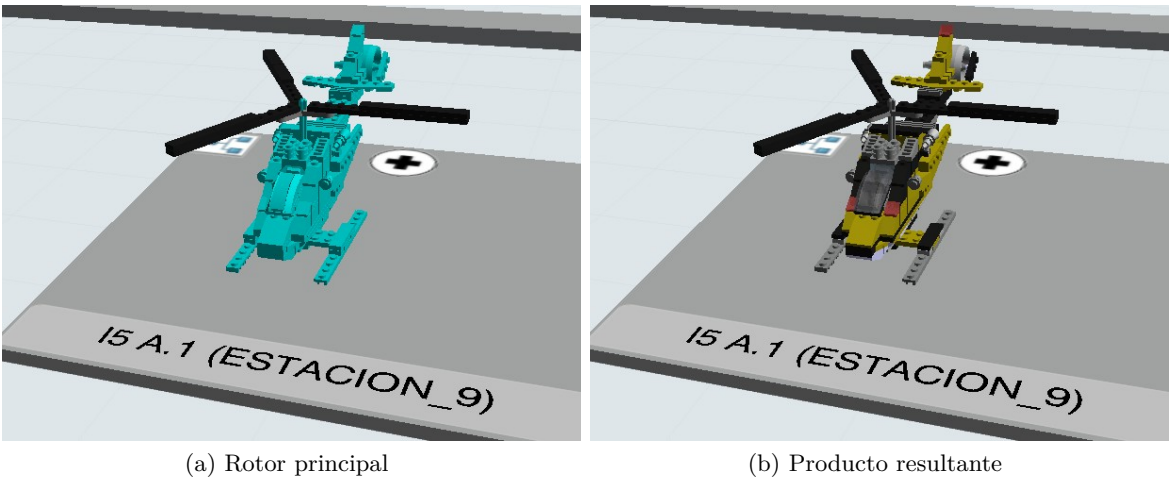


Figura 6.68: Estación 9

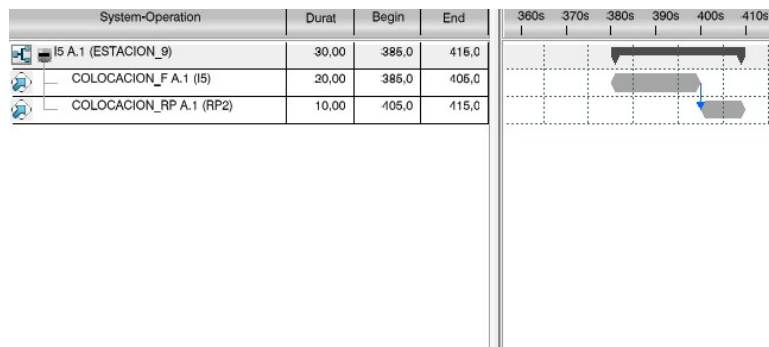


Figura 6.69: Diagrama de Gantt de la estación 9

■ Estación 10

En esta última etapa se coloca el último complemento para completar el producto final. Se trata del componente que fija el rotor principal.

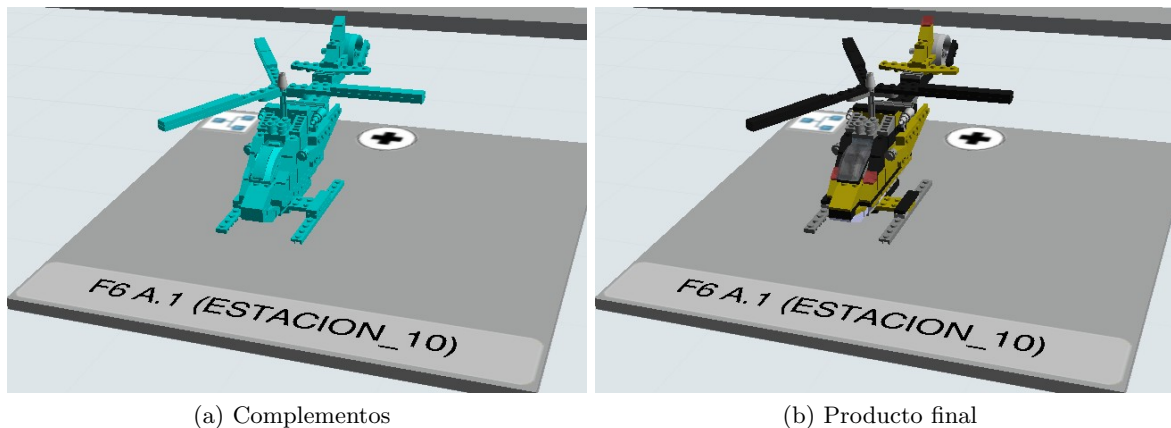


Figura 6.70: Estación 10

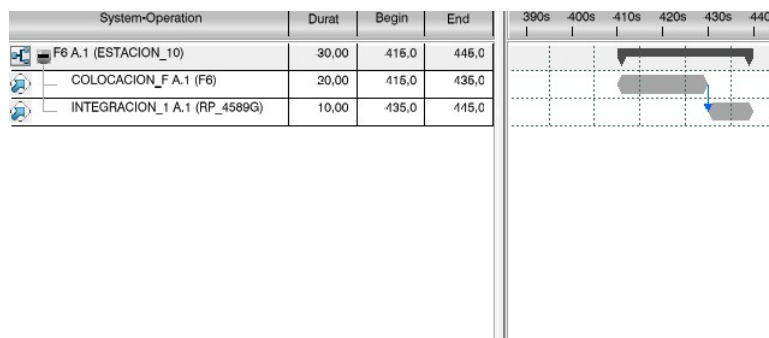


Figura 6.71: Diagrama de Gantt de la estación 10

6.8.7.3. Estructura de recursos

En este apartado se van a definir los recursos necesarios para desarrollar todas las operaciones definidas en la línea de ensamblado final.

En el Capítulo 3 se realizó una introducción de los diferentes recursos típicos existentes. Los recursos empleados en el montaje de este producto son los siguientes:

- *Area*. Define la instalación donde se van a desarrollar todas las operaciones relacionadas con la línea de ensamblado final.
- *Manufacturing Cell*. Se emplean para definir las distintas estaciones que componen la línea de fabricación. Todas estas se distribuyen por el área anteriormente establecida.
- *Worker*. Se trata de una persona relacionada con la operación en cuestión. Puede ser un operario, ingeniero, verificador o cualquier personal de soporte.
- *Tool Equipment*. Conjunto de herramientas que permiten al equipo de trabajo realizar la operación con éxito.
- *Control Equipment*. En este caso, se tratan de puentes grúa o equipos de posicionamiento de componentes.
- *Inspect*. Equipo de inspección que tiene la función de garantizar que todas las operaciones se realizan correctamente.

Se tiene por tanto, un área general donde se establecen las diez estaciones linealmente secuenciadas. En cada una de estas se pueden desarrollar, como se ha visto en el apartado anterior, operaciones de ensamblado de componentes o de otros subconjuntos.

En cada estación se tiene un equipo de trabajo constituido por personal de ingeniería, verificación y operaciones. Cada equipo posee su propio conjunto de herramientas y sistemas para realizar las operaciones de dicha estación.

De manera global, se dispone de un puente grúa que se emplea para posicionar el producto intermedio a lo largo de la línea de ensamblado. También se emplea para colocar los subconjuntos principales de este producto. Por otro lado, en las estaciones donde se integran complementos del fuselaje, se usa una pequeña grúa para facilitar al personal su integración.

Por último, se tiene un equipo de verificación o de inspección para garantizar que el proceso completo resulte satisfactorio.



Figura 6.72: Estructura de recursos

6.9. Simulación de montaje

En esta última sección, se procede a desarrollar la simulación de integración del producto en su línea de ensamblado final. Para ello se emplea la aplicación *Manufacturing Assembly Evaluation*.

Esta herramienta proporciona las siguientes capacidades:

- Creación y edición interactiva de las trayectorias de ensamblado.
- Integración del producto, operación a operación.
- Definición de puntos de prueba para analizar durante la simulación las posibles interferencias.
- Gestión de la secuencia de ensamblado con el editor del diagrama de *Gantt*.
- Generación automática de un estado de ensamblado “explotado”.

La simulación realizada se estructura en 21 trayectorias de ensamblado. A continuación se van a analizar cada una de ellas en su estación correspondiente.



Figura 6.73: Producto sujeto a simulación

6.9.1. Estación 1

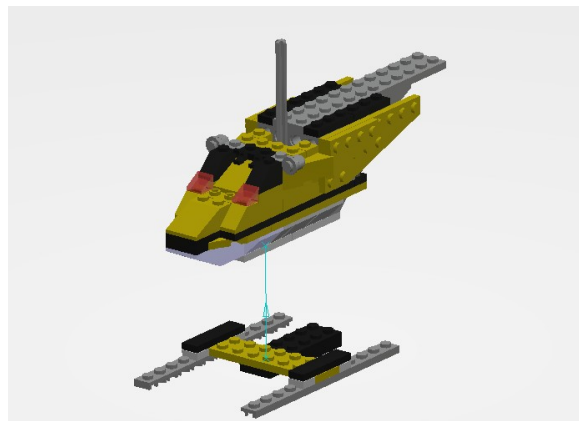


Figura 6.74: Integración del fuselaje base con el fuselaje medio

6.9.2. Estación 2

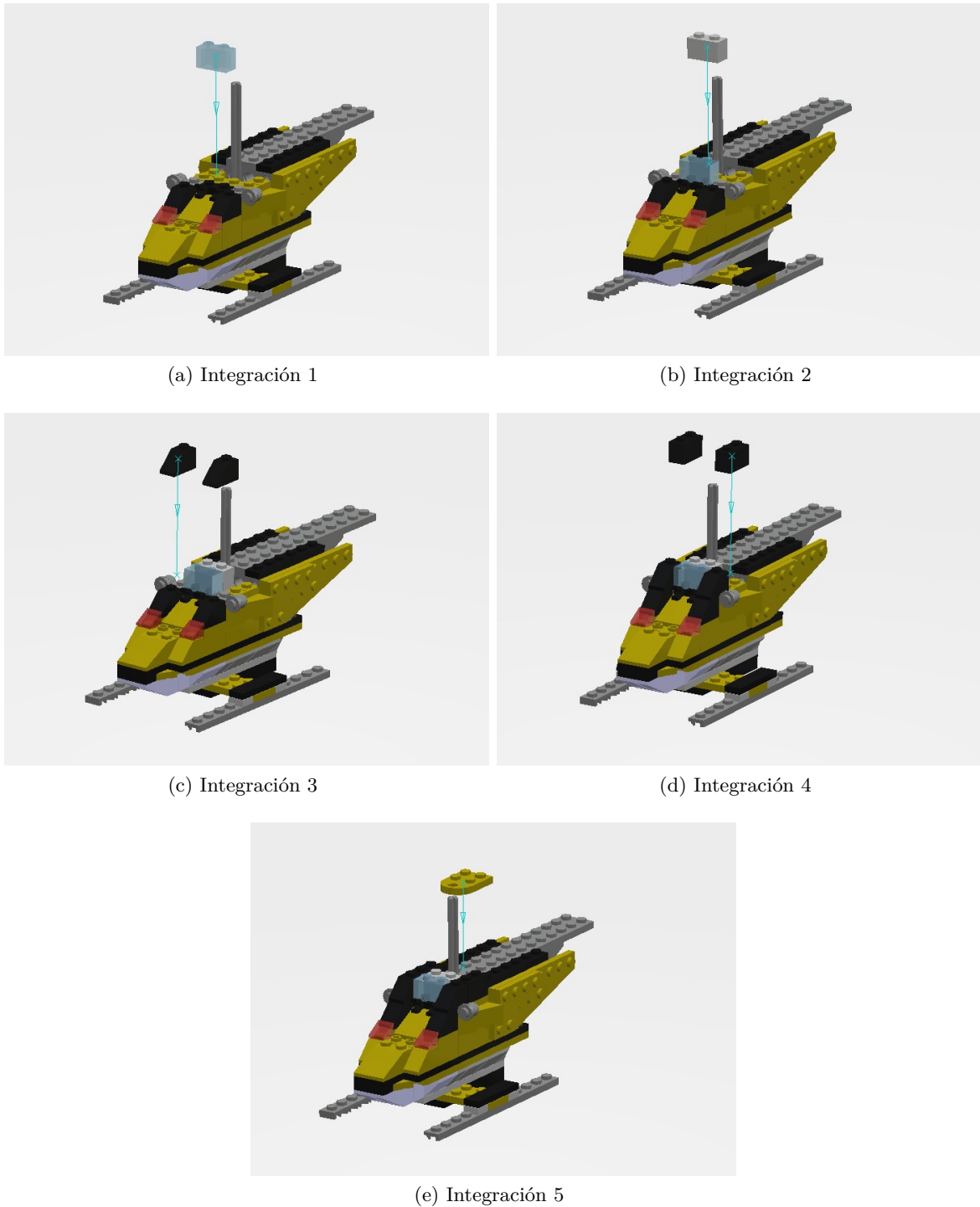


Figura 6.75: Trayectorias de ensamblado de la estación 2

6.9.3. Estación 3

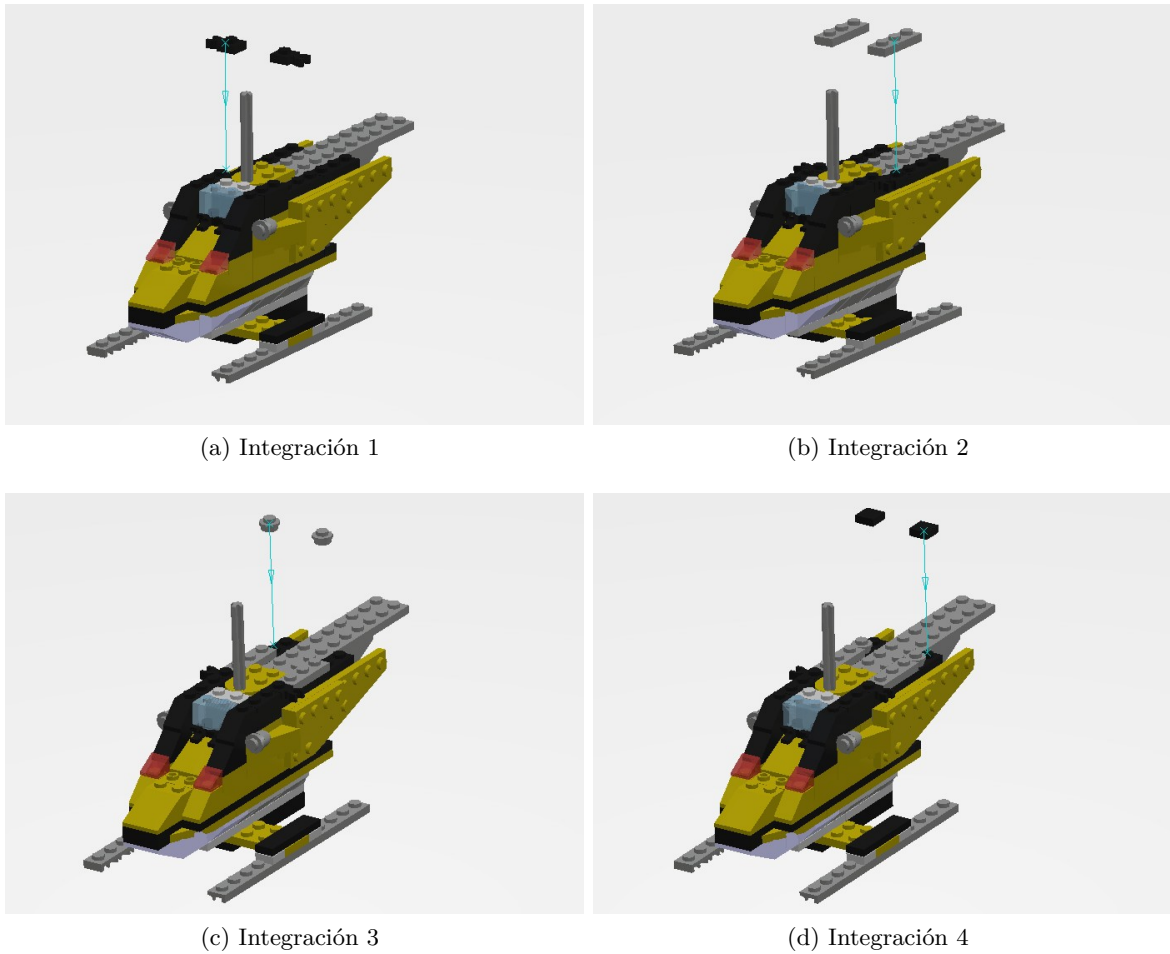


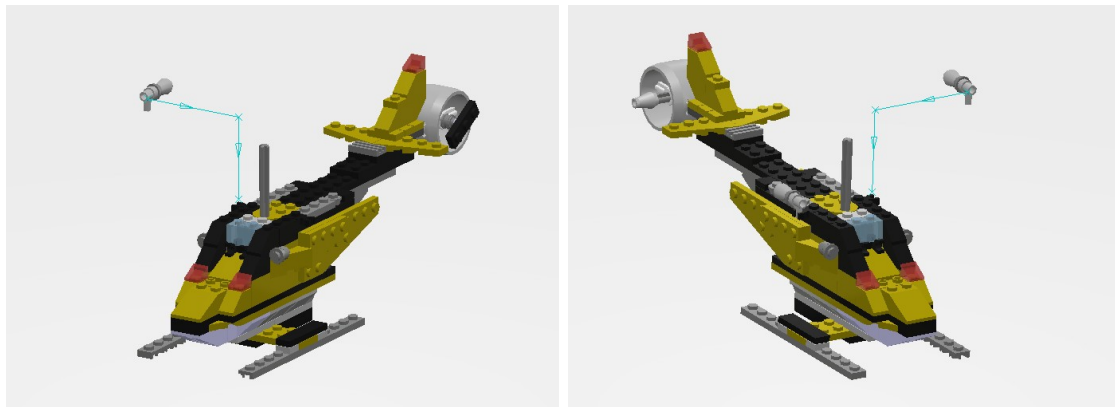
Figura 6.76: Trayectorias de ensamblado de la estación 3

6.9.4. Estación 4



Figura 6.77: Integración del conjunto de cola con el fuselaje

6.9.5. Estación 5



(a) Integración 1

(b) Integración 2

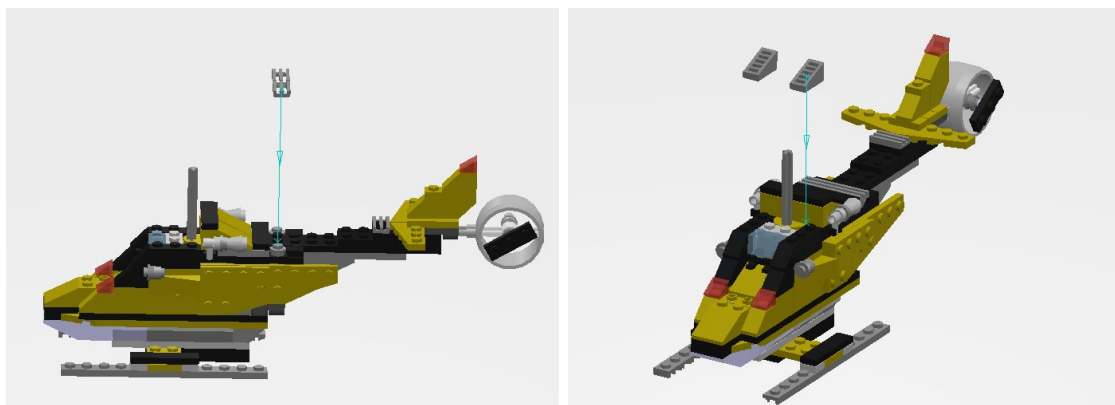
Figura 6.78: Trayectorias de ensamblado de la estación 5

6.9.6. Estación 6



(a) Integración 1

(b) Integración 2



(c) Integración 3

(d) Integración 4

Figura 6.79: Trayectorias de ensamblado de la estación 6

6.9.7. Estación 7



Figura 6.80: Integración de la cabina con el fuselaje

6.9.8. Estación 8



Figura 6.81: Integración del complemento de cabina

6.9.9. Estación 9



Figura 6.82: Integración del rotor principal con el fuselaje

6.9.10. Estación 10



Figura 6.83: Integración del fijador del rotor principal

Por último, se muestra el producto “explotado” y todas las trayectorias de manera conjunta (Figuras 6.84 y 6.85).



Figura 6.84: Componentes a ensamblar en la línea de fabricación final



Figura 6.85: Trayectorias de ensamblado

Capítulo 7

Conclusiones y extensiones

El objeto de este proyecto era el análisis de las posibilidades de un entorno PLM para el diseño e implementación de un prototipo de proyecto aeronáutico.

En primer lugar se han estudiado los principales conceptos y características de esta filosofía. Una vez determinados estos, se procedió a desarrollar de forma teórica la estructuración de un proyecto aeronáutico, detallando cada una de sus fases.

Tras elaborar el plan de proyecto, se seleccionó la herramienta software más completa y sofisticada para elaborar virtualmente el prototipo en cuestión. Esta herramienta ha sido **3DEXPERIENCE** de la compañía *Dassault Systèmes*.

Los principales problemas encontrados durante el aprendizaje de dicha aplicación han sido resueltos en su mayoría por el tutor del proyecto y los cursos tutoriales recopilados en la bibliografía. A continuación se mencionan los más significativos:

- Instalación del servidor y de la versión cliente.
- Asignación de licencias y permisos a los usuarios.
- Vinculación entre *ENOVIA* y *CATIA*.

Los primeros pasos dados en la aplicación fueron para realizar la configuración de la herramienta que permitiría el posterior desarrollo del proyecto. El proyecto se virtualizó siguiendo el plan elaborado de manera teórica, desde la fase de diseño hasta la fabricación.

Las principales conclusiones extraídas a lo largo del proyecto son las siguientes:

- Gestión de la información. Es uno de los puntos más destacados que proporciona esta herramienta. Permite almacenar toda la información generada en cada una de las fases y permanece accesible en todo instante.
- Permisos a los usuarios del proyecto. La asignación de diferentes permisos a los usuarios del proyecto posibilita vetar/conceder accesos según el cargo de este. Por ejemplo, permite a los

miembros de un grupo de trabajo visualizar los resultados de otro grupo sin poder editarlos pero sí comentar y sacar conclusiones, garantizando así la interconexión y la realimentación entre todos los integrantes.

- Estructura de fabricación. Haciendo uso de la estructura PPR (Producto-Proceso-Recurso) se tiene de forma integrada estos tres sistemas, permitiendo realizar vinculaciones y tener una visión más completa y acertada de la estructura de fabricación.
- Simulaciones. Aunque tienen muchas utilidades, en este proyecto se han empleado para validar el ensamblado final del producto. La validación se produce cuando se observa que no existen interferencias y el proceso se completa de manera satisfactoria.

En cuanto a las propuestas de estudio futuras se pueden extraer dos fundamentales:

- Realizar diferentes simulaciones a la realizada con el objetivo de optimizar el proceso de ensamblado desde el punto de vista temporal y de utilización de recursos. Además de realizar la simulaciones de ensamblado de los distintos subconjuntos que se emplean en la línea de fabricación final.
- Desarrollo de instrucciones de trabajo a partir de los procesos de integración finalmente seleccionados. Esto permite obtener la documentación necesaria a proporcionar a los operarios encargados de la fabricación para realizar sus tareas correspondientes.

Anexo A

Configuración del entorno

En este anexo se recogen los pasos seguidos para realizar la configuración inicial de la plataforma. Los resultados obtenidos se recogen en el capítulo 5.

Creación de una compañía y del líder

Creación del líder de la compañía:

1. Iniciar sesión en la aplicación *ENOVIA* de 3DEXPERIENCE con el usuario administrador *PLMADM*.



Figura A.1: Inicio de sesión con el usuario administrador

2. Situar en el entorno *Collaboration and Approvals* y seguir los siguientes pasos:

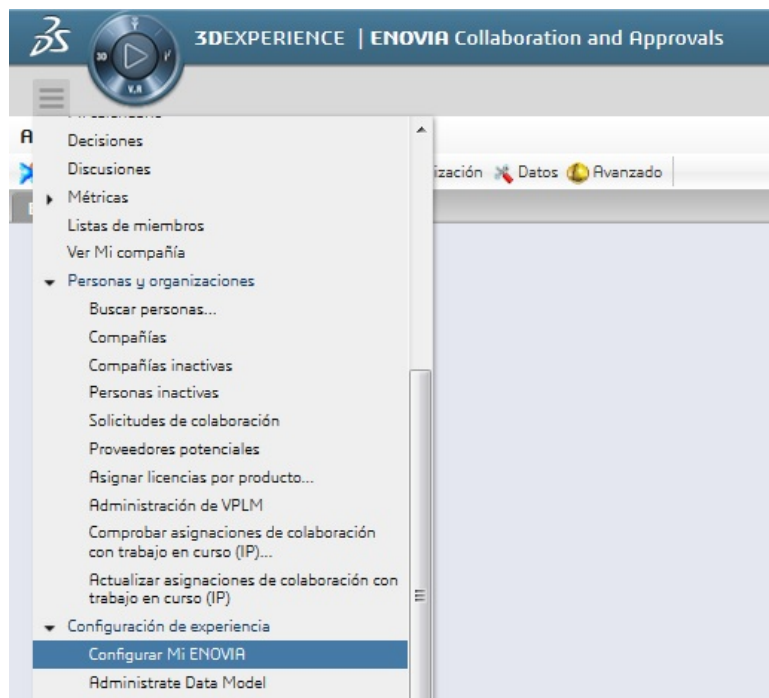


Figura A.2: Creación del líder de la compañía. Paso 1

Administrar Mis personas

Opciones Persona Espacio de cola... Organización Datos Avanzado

Buscar Crear

Id. de usuario* Alias del usuario

Nombre Calle

Apellido Ciudad

Correo electrónico Estado

Teléfono particular Código postal

Teléfono de la oficina País

Empleado: Company Name

Miembro: Company Name Corporate Plant Proyecto fin de master

Organización actual: Company Name

Licencias ya asignadas a algunas personas

- A2V - AutoVue 2D Viewer
- A3V - AutoVue 3D Viewer
- ACG - Accommodation Design
- ACZ - Systems Air Conditioning Library
- AIN - Manufacturing Assembly Instructions
- ALA - ENOVIA Studio Rich Application All-In-One Marketing Configuration
- ALV - ENOVIA VPM All-In-One Marketing Configuration
- ALX - CATIA All-in-One Marketing EAR Configuration
- ARM - Apps Resources Management

Filtrar espacios de colaboración	Autor	Contribuyente	Propietario	Líder	Lector público	Lector
Common Space	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DemoDesign	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DemoPrivateDesign	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DemoProtectedDesign	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DemoPublicDesign	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DemoStandard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PFM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produccion Aeroespacial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Crear

Figura A.3: Creación del líder de la compañía. Paso 2

En esta última ventana se introducen los datos del usuario, la compañía a la que pertenece y las licencias y privilegios que tendrá este.

Para la creación de la compañía hay que mantenerse en el entorno *Collaboration and Approvals* y seguir los siguientes pasos:

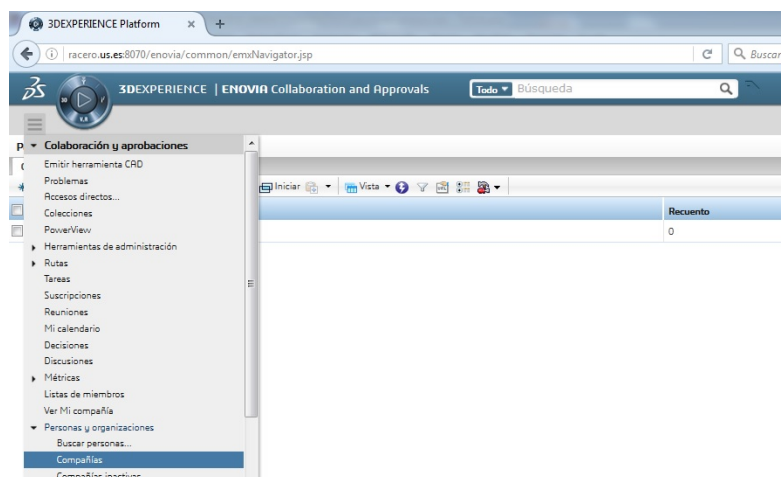


Figura A.4: Creación de una compañía. Paso 1

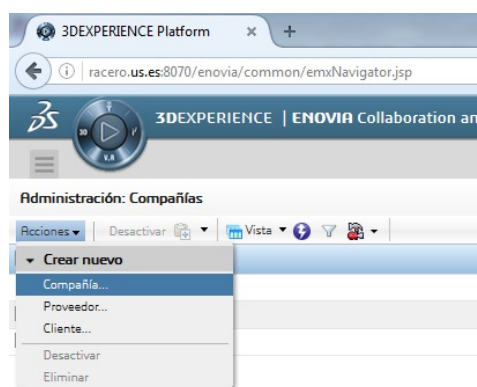


Figura A.5: Creación de una compañía. Paso 2

The screenshot shows the 'Crear compañía' (Create company) form. The form contains various fields for company information, including 'Nombre' (Name), 'Compañía matriz' (Parent company), 'Id. de la compañía' (Company ID), 'Director de recursos' (Resource director), 'Código CAGE', 'Número DUNS', 'Número de teléfono', 'Número de fax', 'Sitio web', 'Almacén de archivos' (File storage), 'Host FTP', 'Directorio FTP', and 'Estado' (Status). The 'Estado' field is set to 'Activo' (Active). At the bottom right, there are buttons for 'Listo' (Ready) and 'Cancelar' (Cancel).

Figura A.6: Creación de una compañía. Paso 3

Creación de un programa

1. Se inicia sesión con el usuario líder de la compañía (JPG), que a su vez es el líder del programa.
2. Independientemente del entorno seleccionado se siguen los siguientes pasos:

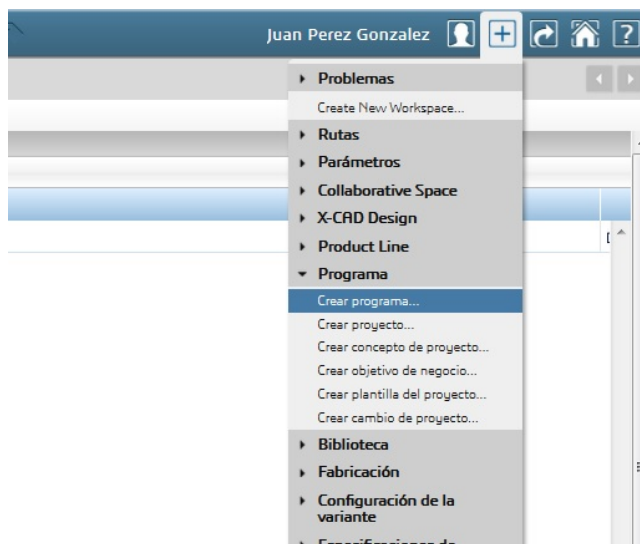


Figura A.7: Creación de un programa. Paso 1

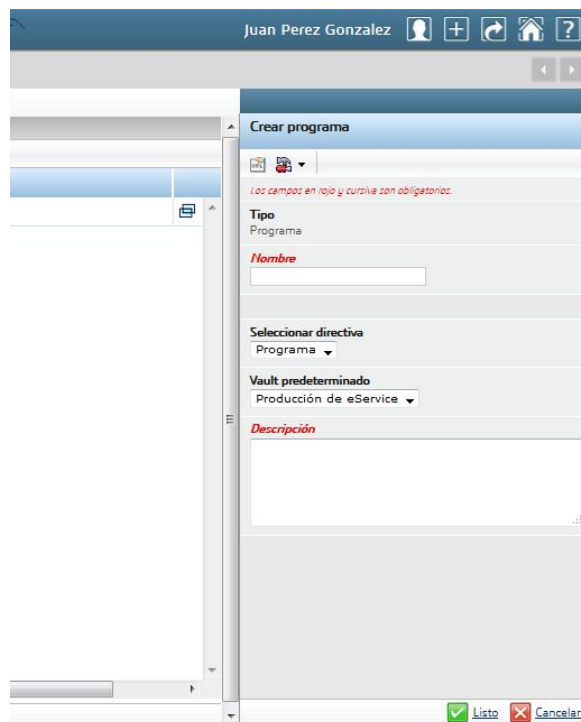


Figura A.8: Creación de un programa. Paso 2

Creación de una plantilla de proyecto

1. Se inicia sesión con el usuario líder del programa (JPG) y se siguen los siguientes pasos:

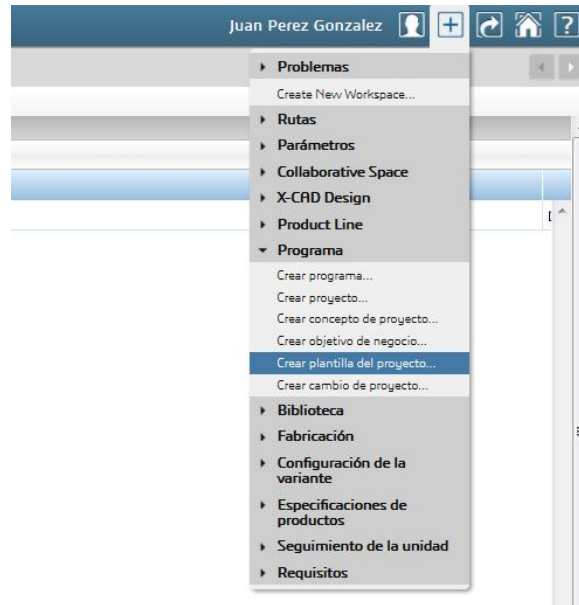


Figura A.9: Creación de una plantilla de proyecto. Paso 1

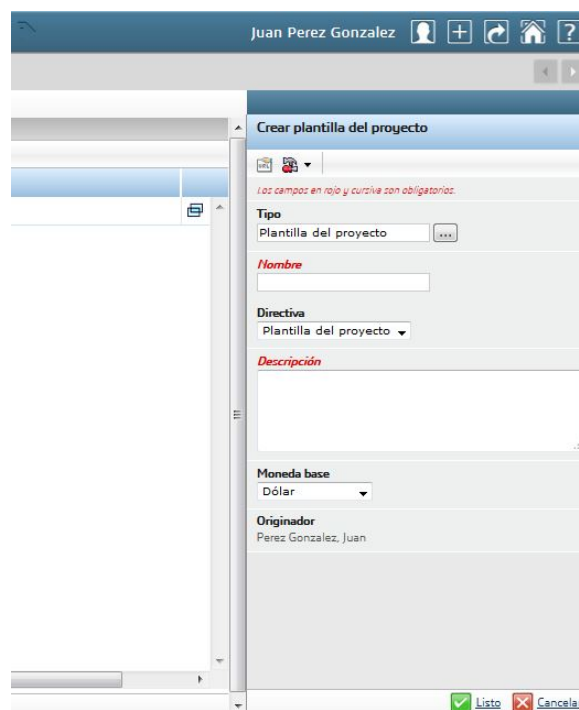


Figura A.10: Creación de una plantilla de proyecto. Paso 2

2. Para acceder a las plantillas de proyecto hay que entrar en el entorno *Program and Project Management*.

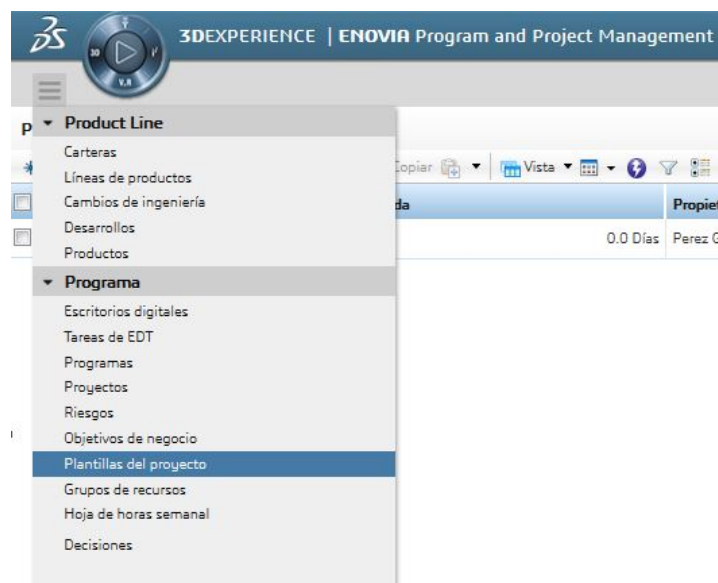


Figura A.11: Creación de una plantilla de proyecto. Paso 3

3. Seleccionar la plantilla de proyecto creada. Dentro de esta, se puede crear la estructura de desglose del trabajo (tareas y subtareas), añadir documentación, marcadores o preguntas selectivas, entre otras opciones.

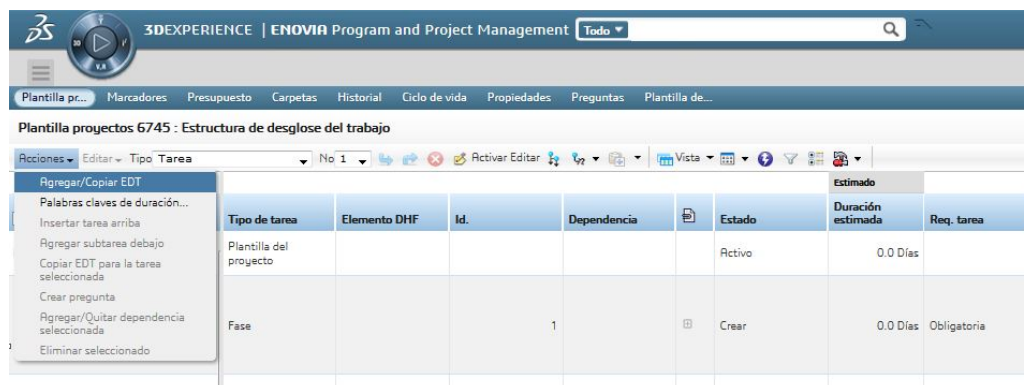


Figura A.12: Creación de una plantilla de proyecto. Paso 4

Creación de un proyecto

1. Se inicia sesión con el usuario líder del programa (JPG) y se abre el entorno *Collaboration and Approvals*.

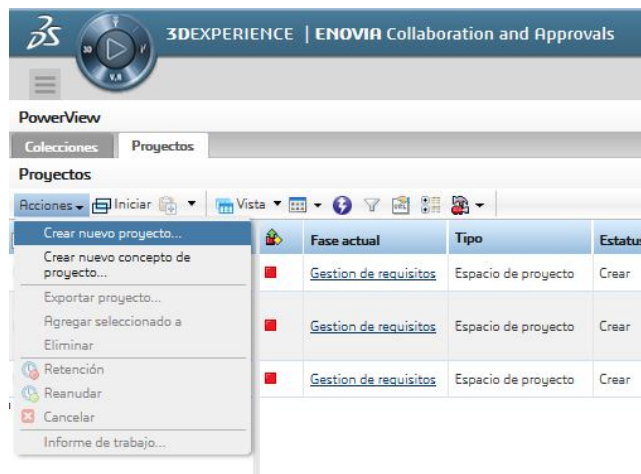


Figura A.13: Creación de un proyecto. Paso 1

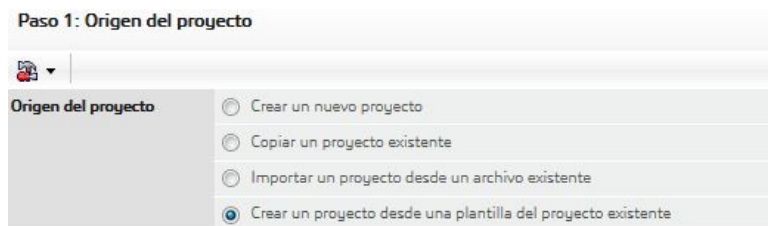


Figura A.14: Creación de un proyecto. Paso 2



Figura A.15: Creación de un proyecto. Paso 3

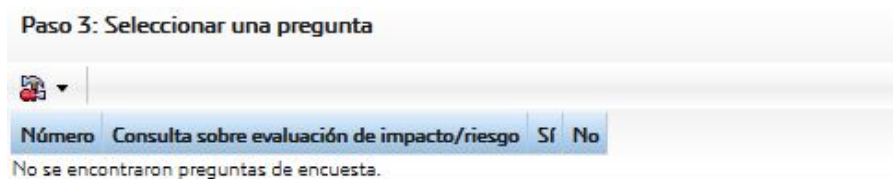




Figura A.16: Creación de un proyecto. Paso 4

Paso 4: Especificar detalles

Nombre	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Nombre automático <input type="checkbox"/> Nombre automático de la tarea
Tipo de proyecto	<input type="text" value="Espacio de proyecto"/>	<input type="button" value="..."/>
Descripción	<div><div></div></div>	
Moneda base	<input type="text" value="Euro"/>	
Programa	<input type="text"/>	<input type="button" value="..."/> Borrar
Visibilidad del proyecto	<input type="text" value="Miembros"/>	
Unidad de negocio	<input type="text"/>	<input type="button" value="..."/> Borrar
Planificación desde	<input type="text" value="Fecha de inicio del proyecto"/>	
Fecha de proyecto	<input type="text"/>	
Directiva	<input type="text" value="Espacio de proyecto"/>	
Tipo de restricción predeterminada	<input type="text" value="Lo antes posible"/>	

Figura A.17: Creación de un proyecto. Paso 5

- Una vez creado el proyecto, el líder del proyecto asigna el personal y particulariza este a partir de la plantilla anteriormente desarrollada.

Anexo B

Desarrollo de un proyecto

En este anexo se van a explicar los pasos a seguir para desarrollar un proyecto en la aplicación *ENOVIA*. En lo que sigue se va a particularizar para el producto utilizado en este trabajo.

Inicialmente, el proyecto posee las características definidas en la plantilla de proyecto.



Figura B.1: Base del proyecto

En este trabajo se van a desarrollar las tres primeras fases: Gestión de requisitos, diseño y programación. En cada una de estas fases se tiene que desarrollar su estructura interna. Este desarrollo consiste fundamentalmente en la creación de tareas o hitos a completar para satisfacer los requisitos preestablecidos a la fase en cuestión. Esta creación de tareas es realizada por el personal asignado a la fase correspondiente.

Asignación de personal

1. Iniciar sesión con el usuario encargado de la fase correspondiente. En este caso todas las fases están bajo el control del jefe de proyecto (MP).
2. Seleccionar la fase a la que se le quiere asignar el personal.
3. **Personas asignadas** → **Agregar** → **Búsqueda**.

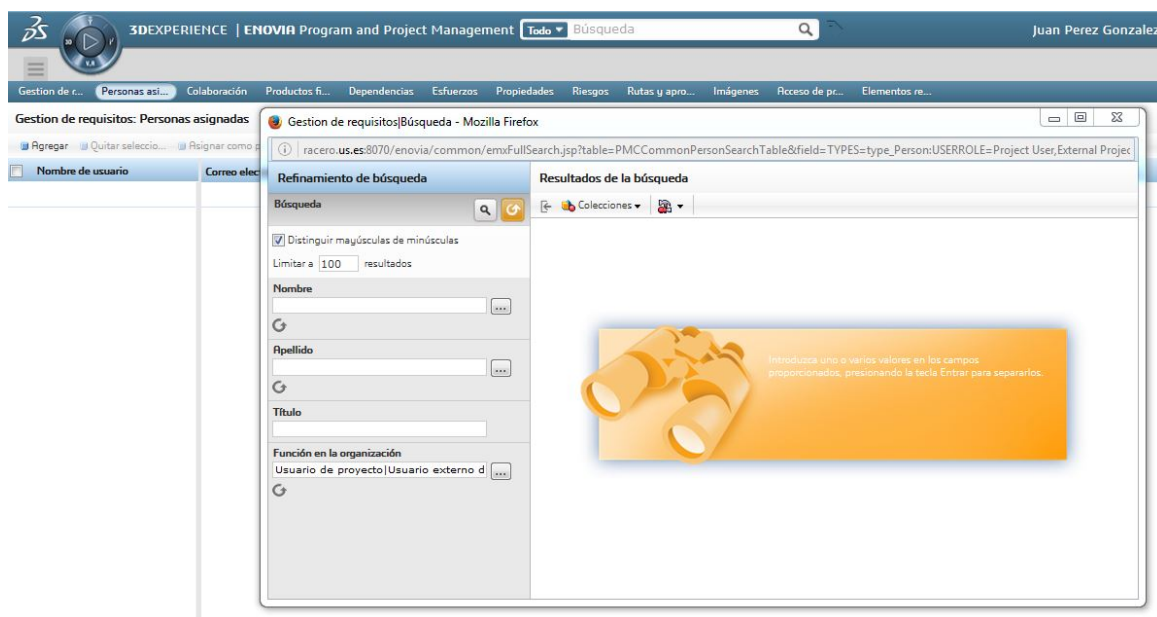


Figura B.2: Asignación de personal a una fase

- Una vez asignado el personal a la fase, este puede crear tareas y asignarle a estas operarios encargados de realizarlas. Para ello se sigue el mismo proceso anterior.

Creación de una tarea

- Se inicia sesión con el encargado de definir la tarea.
- Seleccionar la fase a la que se le quiere asignar la tarea.

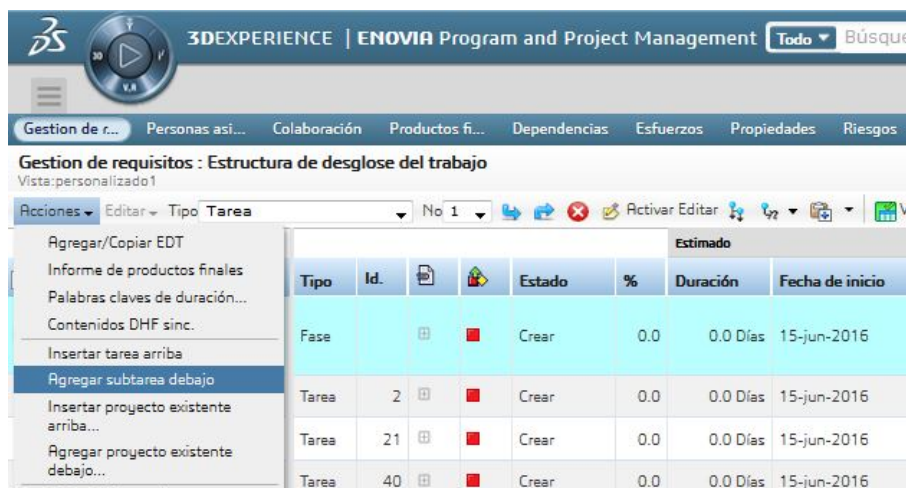


Figura B.3: Creación de tareas. Paso 1

- Seleccionar el tipo de tarea.
- Nombrar y describir.

-
5. Completar el resto de propiedades opcionales.
 6. Asignar el personal encargado de realizarla.

Agregar nueva tarea

Tipo de tarea	Tarea ▼	
Nombre de la tarea	Tarea de cambio Puerta Revisión interactiva Etapa Fase Pregunta de la revisión Tarea	
Descripción		
Duración	<input type="text"/> Días ▼	
Requisito de tarea	Opcional ▼	
Seleccionar directiva	Tarea del proyecto ▼	
Función en el proyecto		
Calendario		
Tipo de restricción de tarea	Lo antes posible ▼	
Fecha de restricción de tarea		
Necesita revisión	No ▼	
Personas asignadas		
Propietario	Persona asignada	Nombre
<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Cabina 1, Designer
<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Cabina 2, Designer
<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Futursia Manager

Figura B.4: Creación de tareas. Paso 2

Introducción de productos finales

En el proyecto hay tareas que generan productos finales o agrupan una serie de componentes creando una lista de materiales. Para este tipo de tareas o hitos se sigue el siguiente proceso (previamente es necesario crear el producto físico asociado según sección 6.5).

1. Iniciar sesión con el usuario encargado de la tarea correspondiente.
2. Seleccionar la tarea.

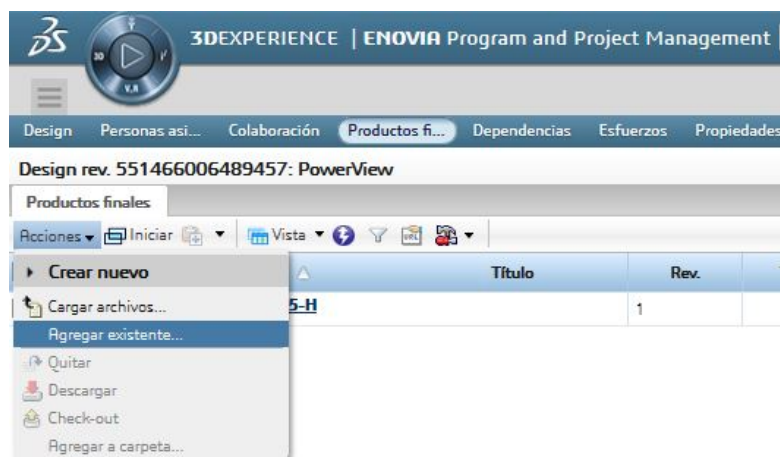


Figura B.5: Introducción de productos finales. Paso 1

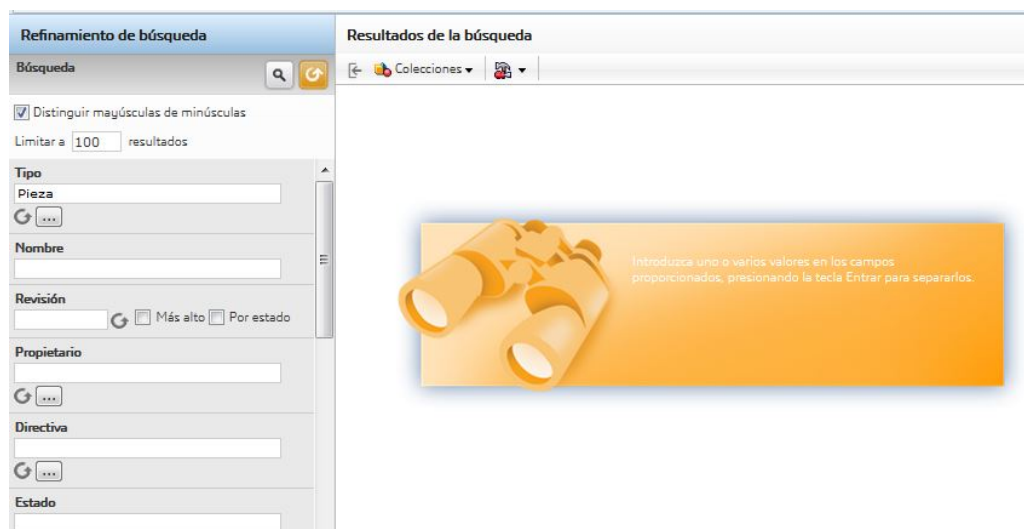


Figura B.6: Introducción de productos finales. Paso 2

Creación de una estructura PPR

En este apartado se abarca la creación de la estructura PPR a partir del desarrollo de los esquemas de producto, procesos y recursos.

El esquema de producto se consigue dividiendo el producto final en subconjuntos principales o grupos de complementos.

Los pasos para construir esta estructura son los siguientes:

1. Iniciar sesión en la aplicación cliente de **3DEXPERIENCE** con el usuario JPG.
2. Abrir el módulo *Manufactured Item Definition*.

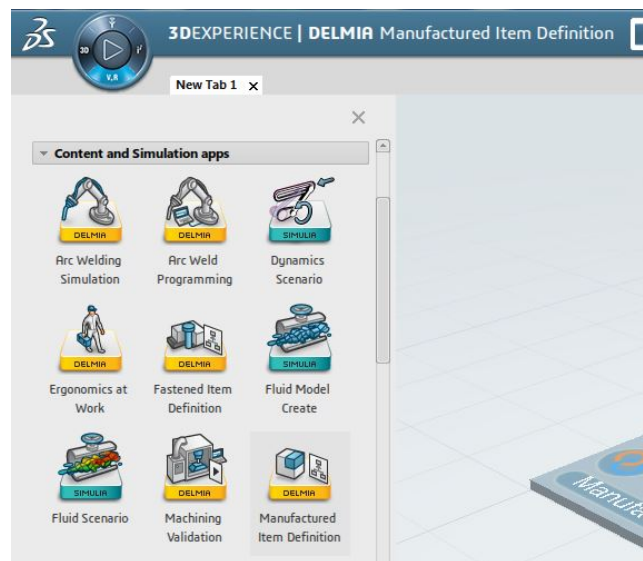


Figura B.7: Creación de la estructura PPR. Paso 1

3. Insertar el producto final previamente importado.

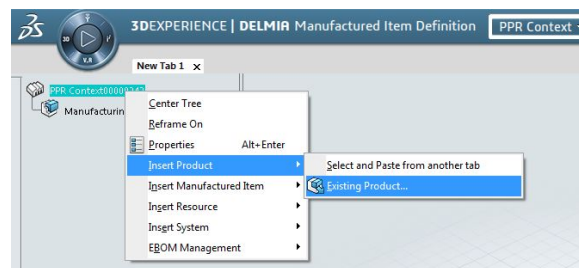


Figura B.8: Creación de la estructura PPR. Paso 2

4. *Create Manufactured Item Product Scope* y se lo asociamos al producto final.

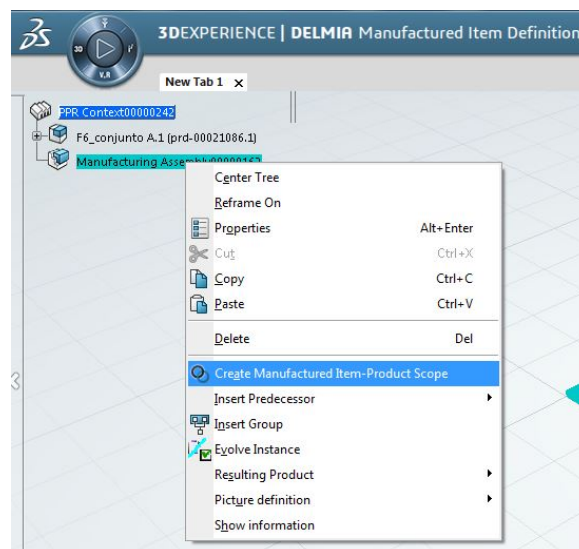


Figura B.9: Creación de la estructura PPR. Paso 3

ANEXO B. DESARROLLO DE UN PROYECTO

5. Se insertan predecesores y se asocian con los elementos del producto final correspondiente. Estos predecesores se clasifican en *Manufacturing Assembly* o *Provided Part*. También se pueden crear grupos para asociar componentes.

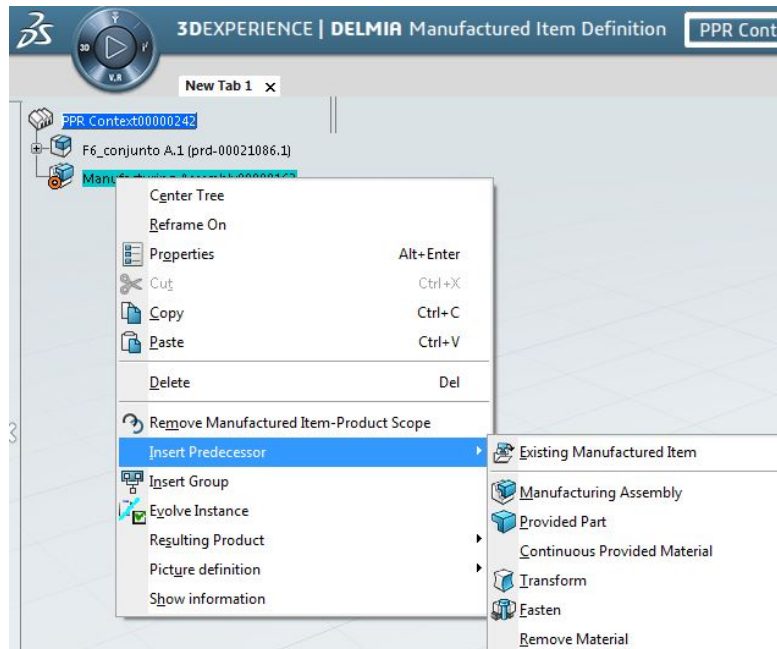


Figura B.10: Creación de la estructura PPR. Paso 4

6. Creación del esquema de sistemas. Abrir el módulo *Mfg Process Planning*.



Figura B.11: Creación de la estructura PPR. Paso 5

7. Asociar los sistemas con los procesos mediante *Manage Scopes*.

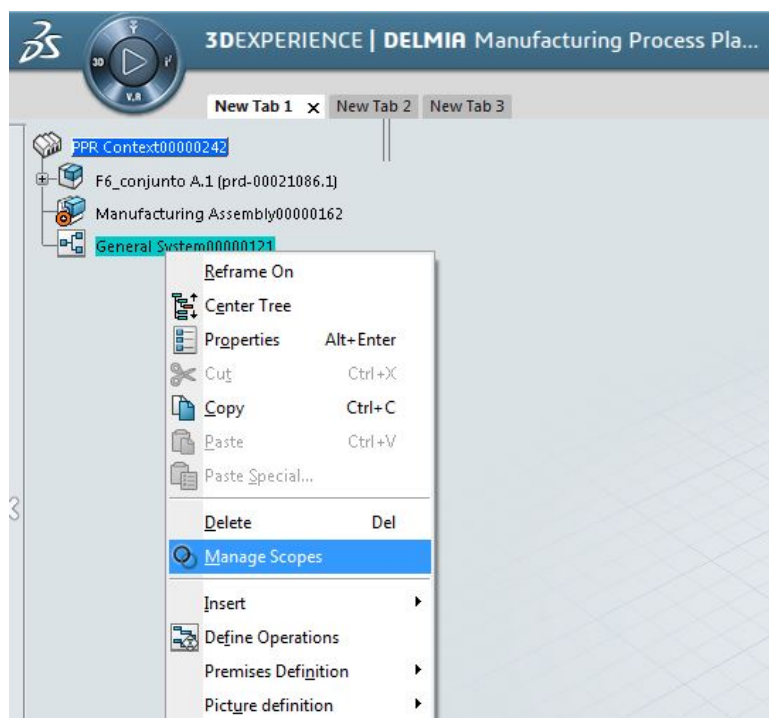


Figura B.12: Creación de la estructura PPR. Paso 6

8. Insertar subsistemas.

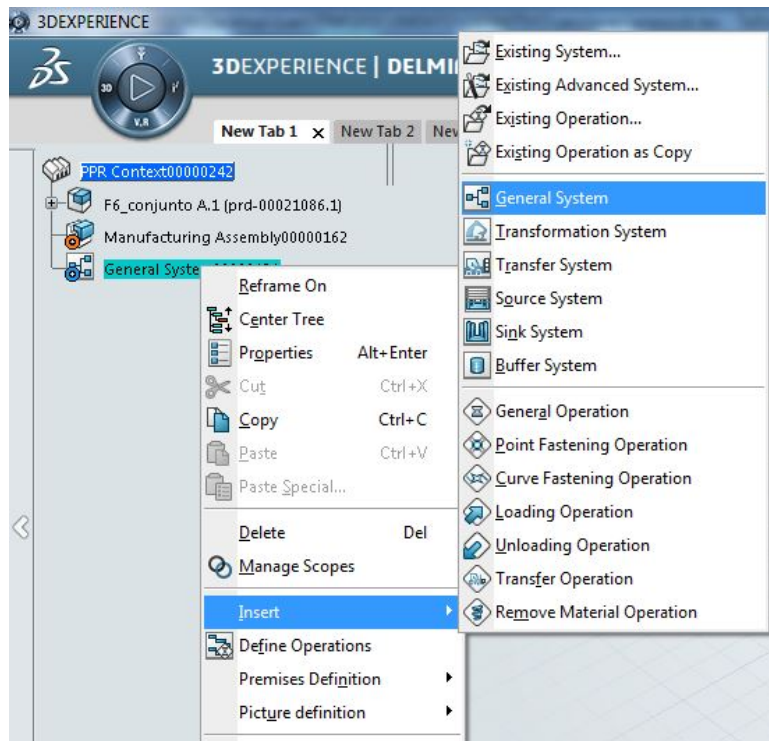


Figura B.13: Creación de la estructura PPR. Paso 7

9. Insertar operaciones a dichos subsistemas.

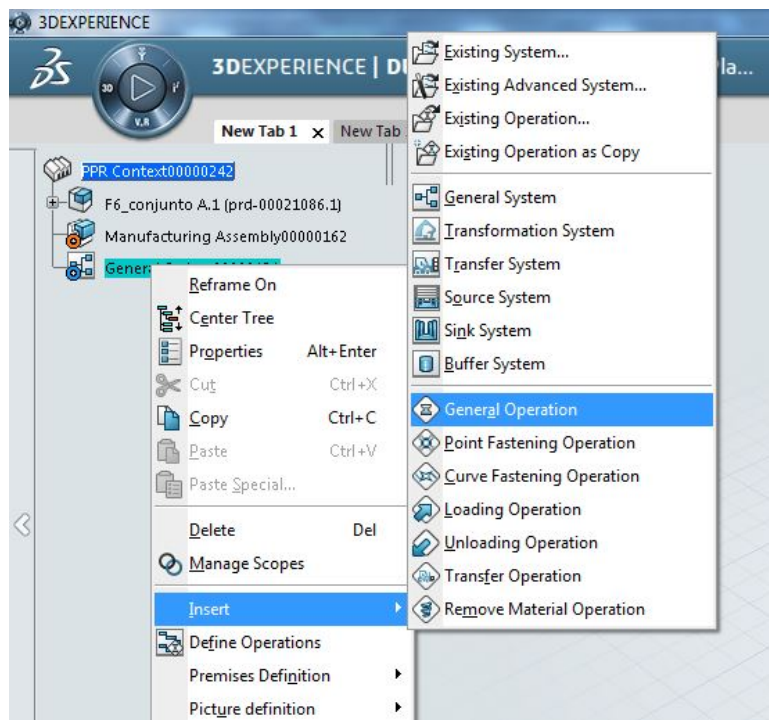


Figura B.14: Creación de la estructura PPR. Paso 8

10. Asignar las operaciones con los procesos. Seleccionar operación → *Assignment Manager* → Seleccionar proceso.

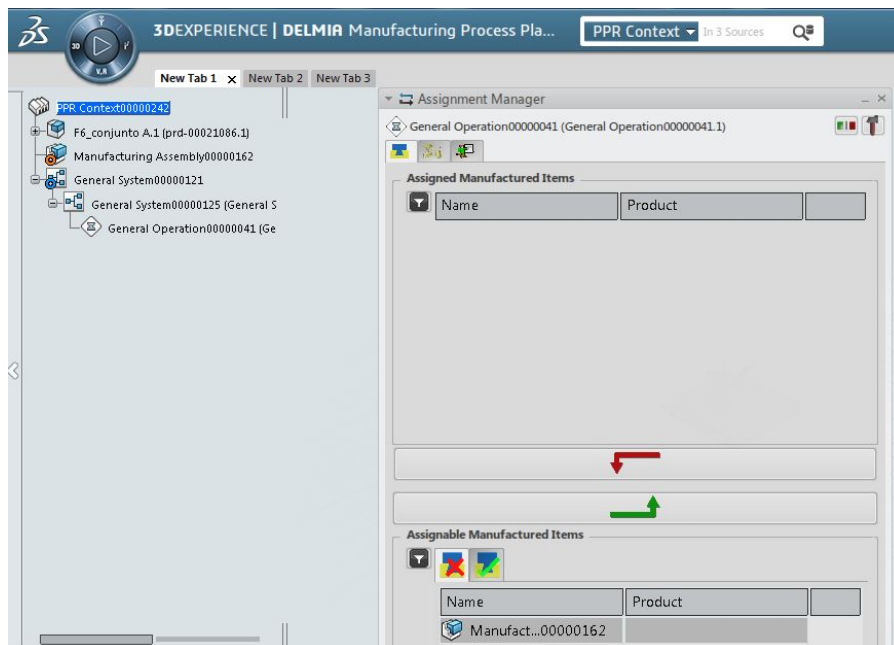


Figura B.15: Creación de la estructura PPR. Paso 9

11. Crear diagrama de Gantt de un sistema. Seleccionar sistema → *Manufacturing System Gantt*. En este diagrama aparecen todas las operaciones asociadas al sistema, su duración, relaciones

y recursos asociados. Para establecer relaciones de precedencia: *Create Precedence Link* → Seleccionar las operaciones en cuestión.

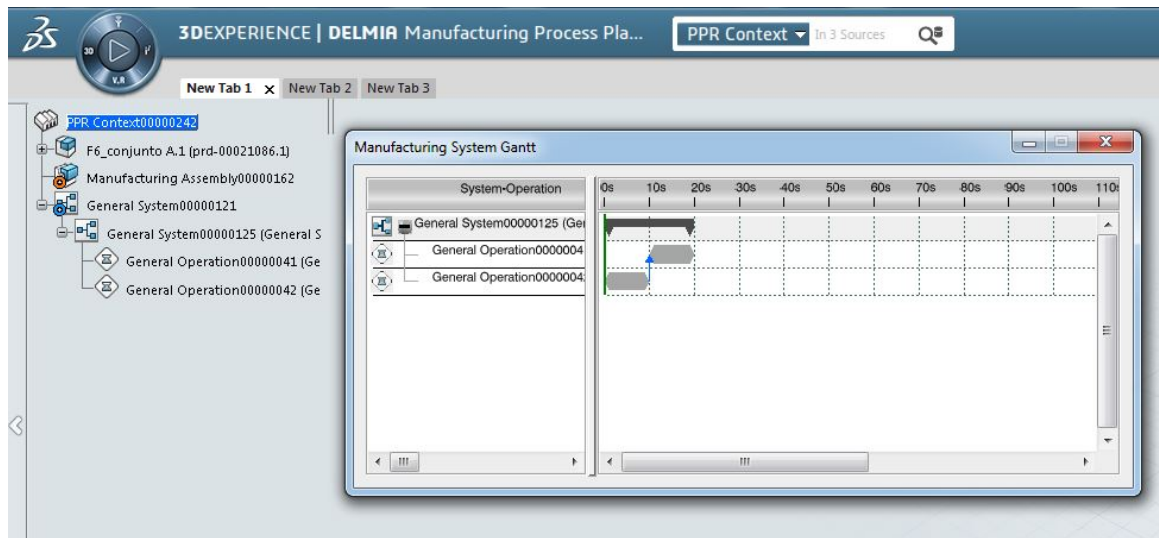


Figura B.16: Creación de la estructura PPR. Paso 10

12. Creación del esquema de recursos. Abrir el módulo *Mfg Equipment Allocation*.



Figura B.17: Creación de la estructura PPR. Paso 11

13. Insertar los recursos: áreas, células de fabricación, personal, herramientas o grúas, entre otros.

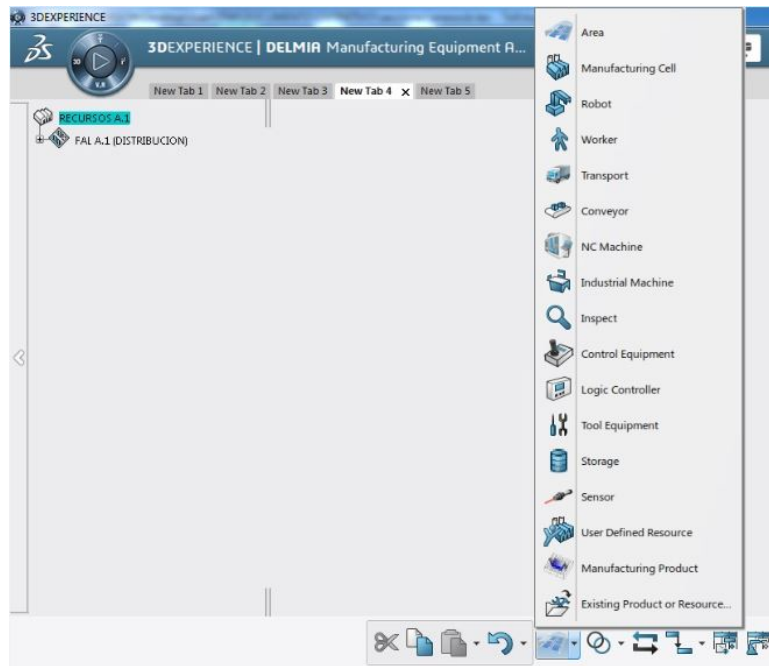


Figura B.18: Creación de la estructura PPR. Paso 12

14. Insertar el esquema de recursos en la estructura PPR.

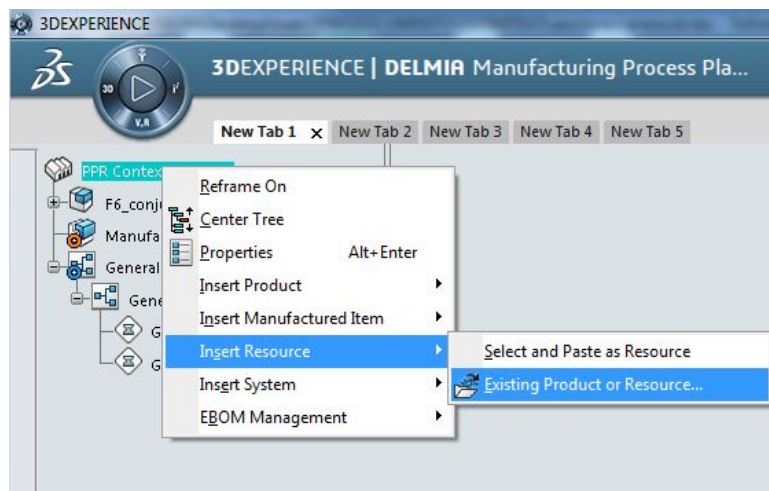


Figura B.19: Creación de la estructura PPR. Paso 13

15. Asociar los recursos con las operaciones. En primer lugar es necesario vincular los subsistemas con las estaciones de recursos (en este proyecto denominadas células de fabricación) mediante *Scopes* → *Create Resource-System Scope*. Tras esto se vinculan las operaciones con los recursos → *Assignments Manager*.

Creación de una simulación

Existen dos formas para realizar una simulación. La primera se utiliza dentro de la estructura PPR y permite diseñar la simulación de cada componente de manera independiente. La segunda forma permite visualizar la simulación completa del producto, aunque se realiza sin vincularla con la estructura PPR.

Para la primera forma se siguen los siguientes pasos:

1. Abrir la estructura PPR.
2. Iniciar el módulo *Manufacturing Assembly Evaluation*.



Figura B.20: Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 1

3. Seleccionar la operación correspondiente.

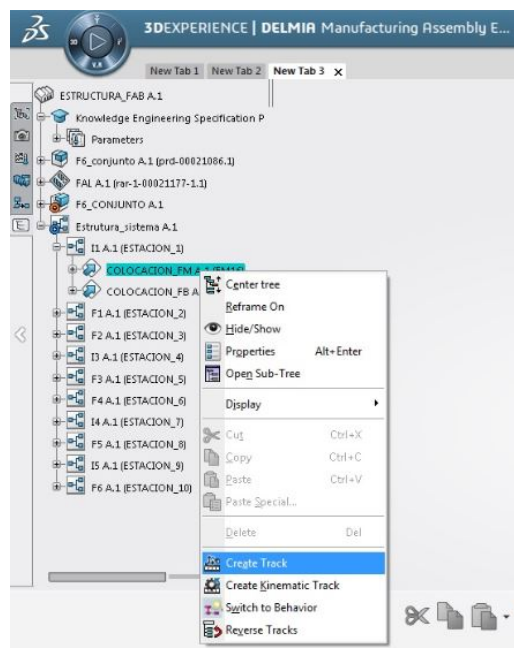


Figura B.21: Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 2

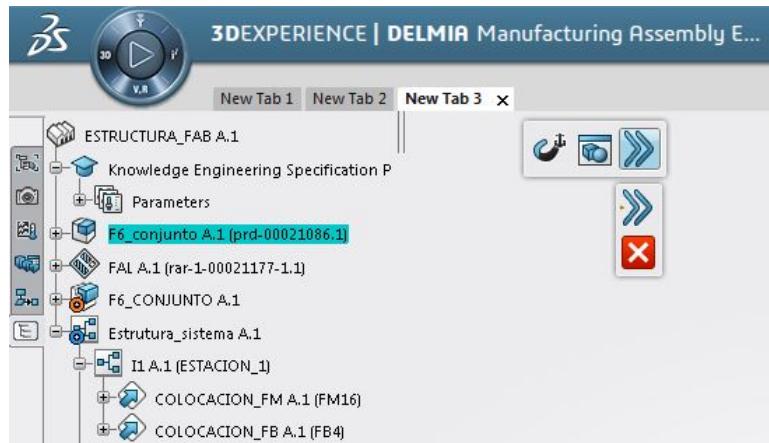


Figura B.22: Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 3

4. Editar los parámetros de la trayectoria.

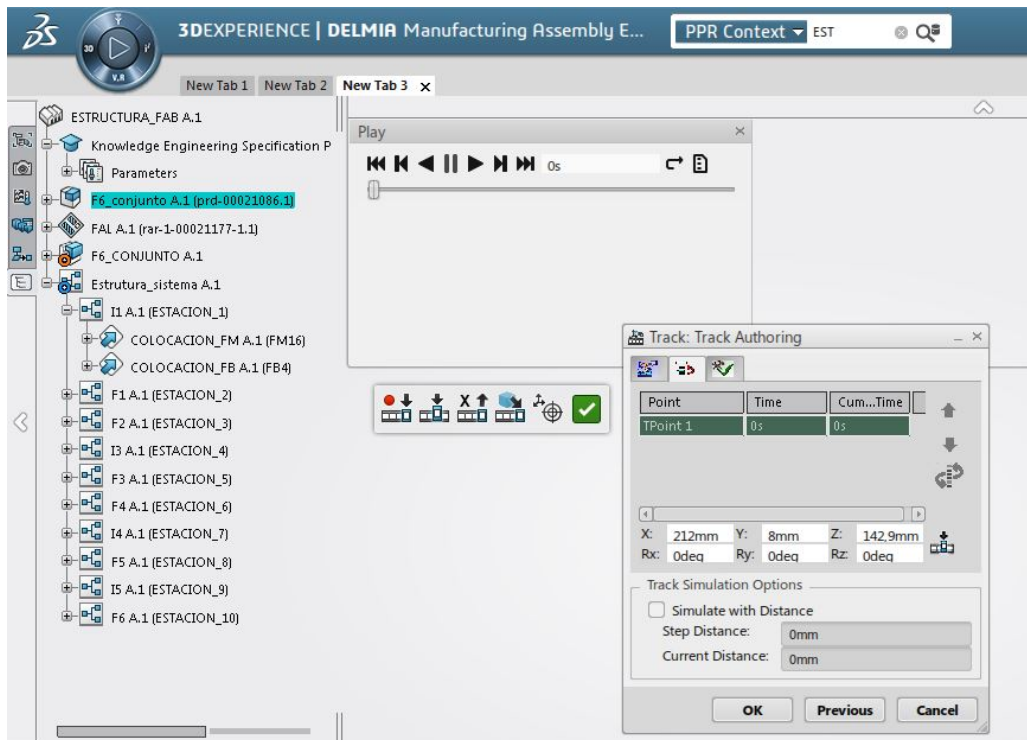


Figura B.23: Creación de la simulación dentro del PPR. Paso 4

El procedimiento para simular el producto completo es el siguiente:

1. Iniciar la aplicación **3DEXPERIENCE**.
2. Seguir los siguientes pasos.

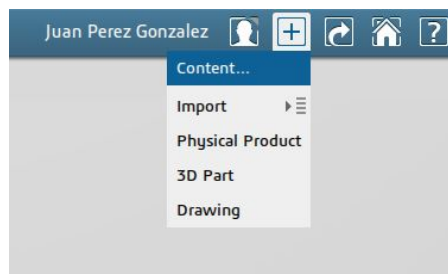


Figura B.24: Creación de la simulación completa. Paso 1

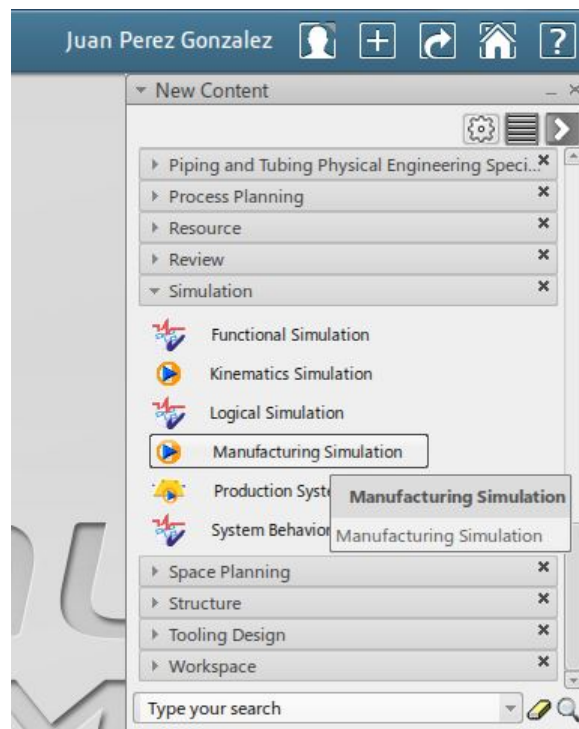


Figura B.25: Creación de la simulación completa. Paso 2

3. Seleccionar modelo. Puede ser una estructura de producto o PPR. En lo que sigue se particulariza para un árbol de producto.

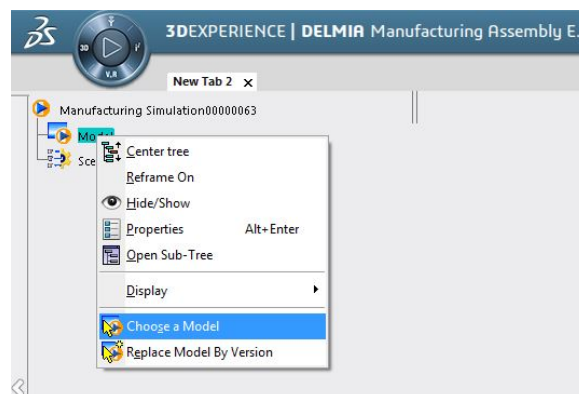


Figura B.26: Creación de la simulación completa. Paso 3

4. Crear un escenario de fabricación.

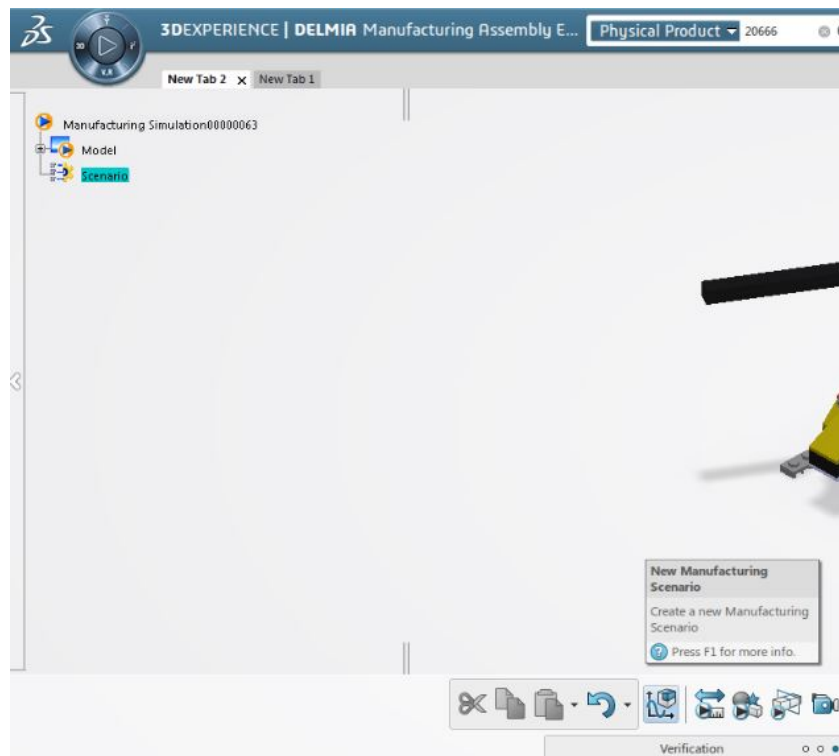


Figura B.27: Creación de la simulación completa. Paso 4

5. Crear secuencia de trayectorias.

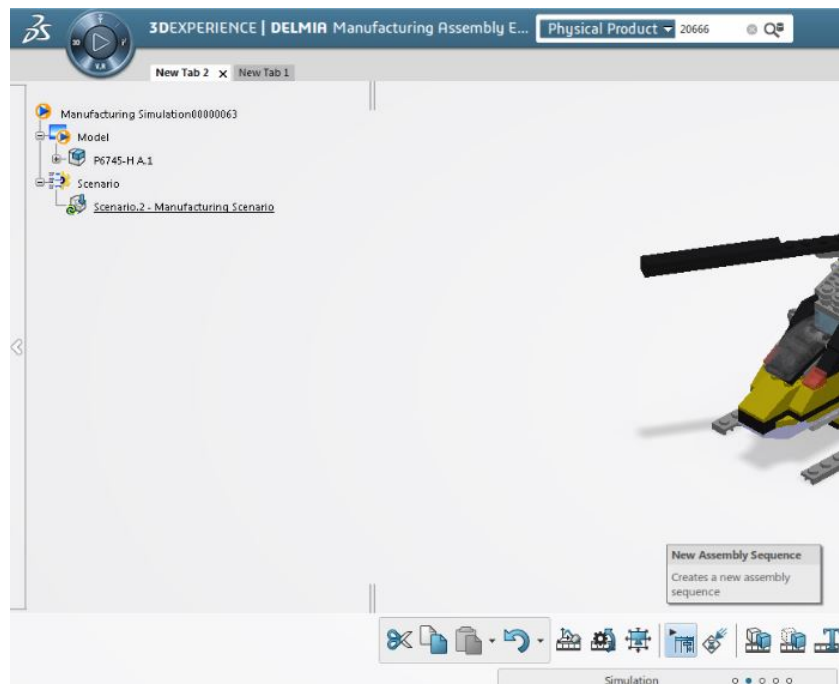


Figura B.28: Creación de la simulación completa. Paso 5

-
6. Crear las trayectorias *New Track* → Seleccionar el componente asociado a esa trayectoria.

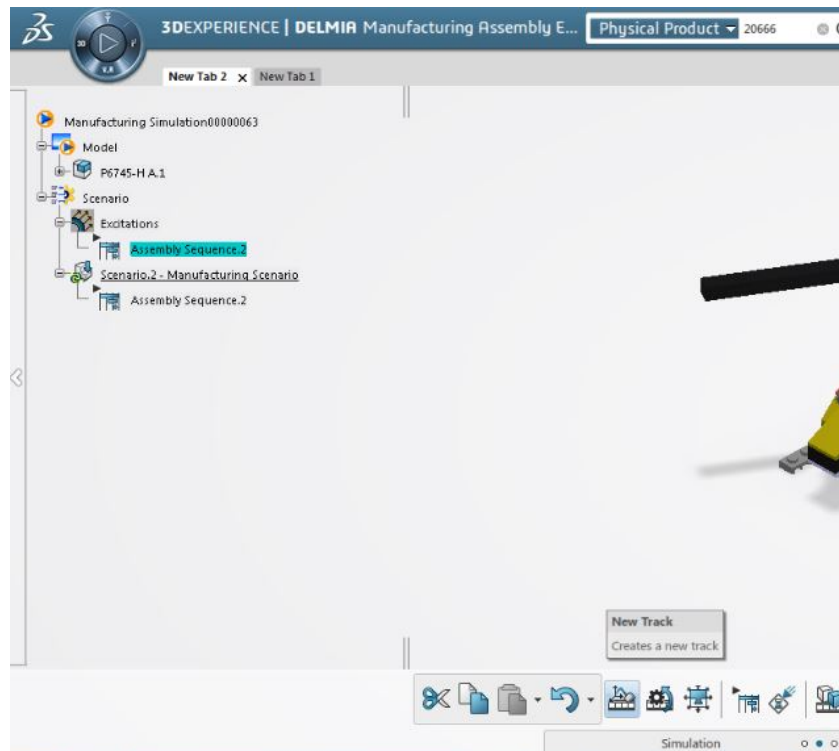


Figura B.29: Creación de la simulación completa. Paso 6

7. Una vez creadas todas las trayectorias, se puede visualizar la simulación completa: Doble clic en el escenario → Vista previa.

Anexo C

Ensamblado en Catia V5 del producto

En este anexo se recogen los principales pasos realizados en la herramienta Catia V5 para integrar los componentes del producto.

1. Abrir la herramienta Catia V5.

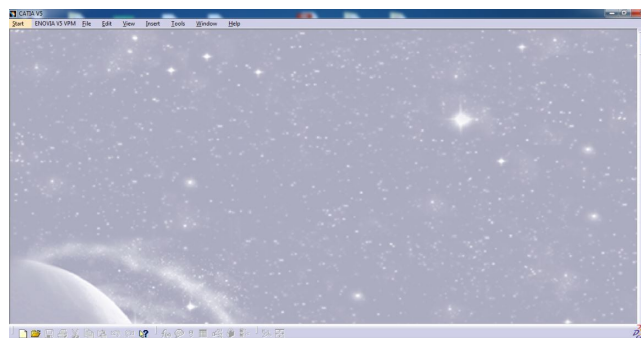


Figura C.1: Entorno Catia V5

2. Abrir el módulo *Assembly Design*.

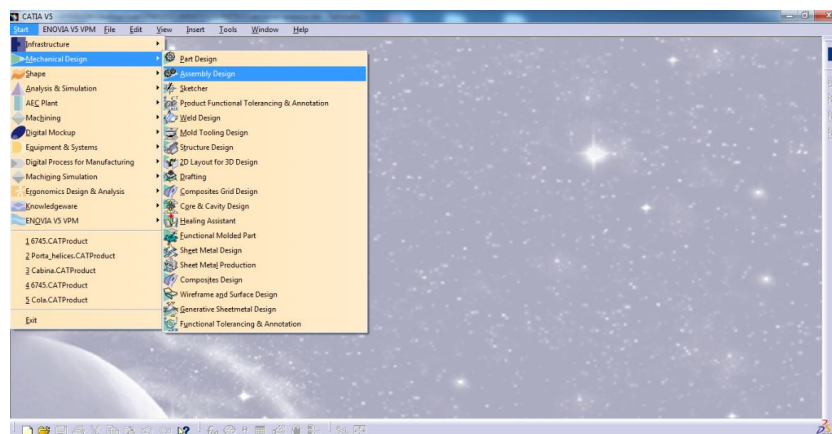


Figura C.2: Módulo Assembly Design

ANEXO C. ENSAMBLADO EN CATIA V5 DEL PRODUCTO

3. Editar las propiedades del conjunto a ensamblar.

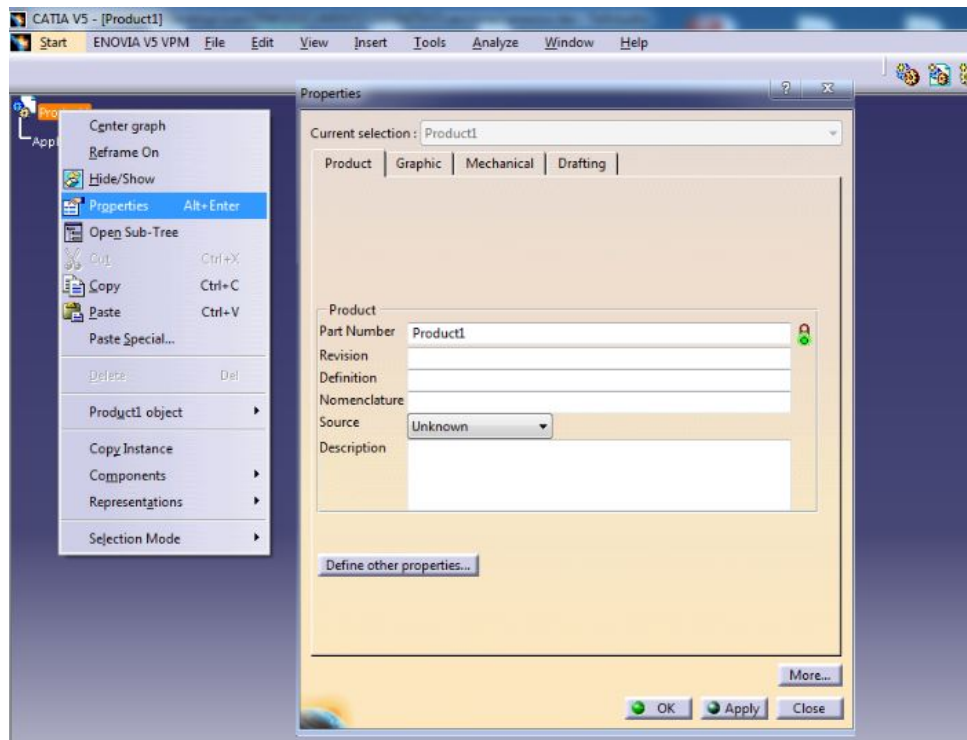


Figura C.3: Propiedades del conjunto

4. Insertar componentes desde la librería de partes.

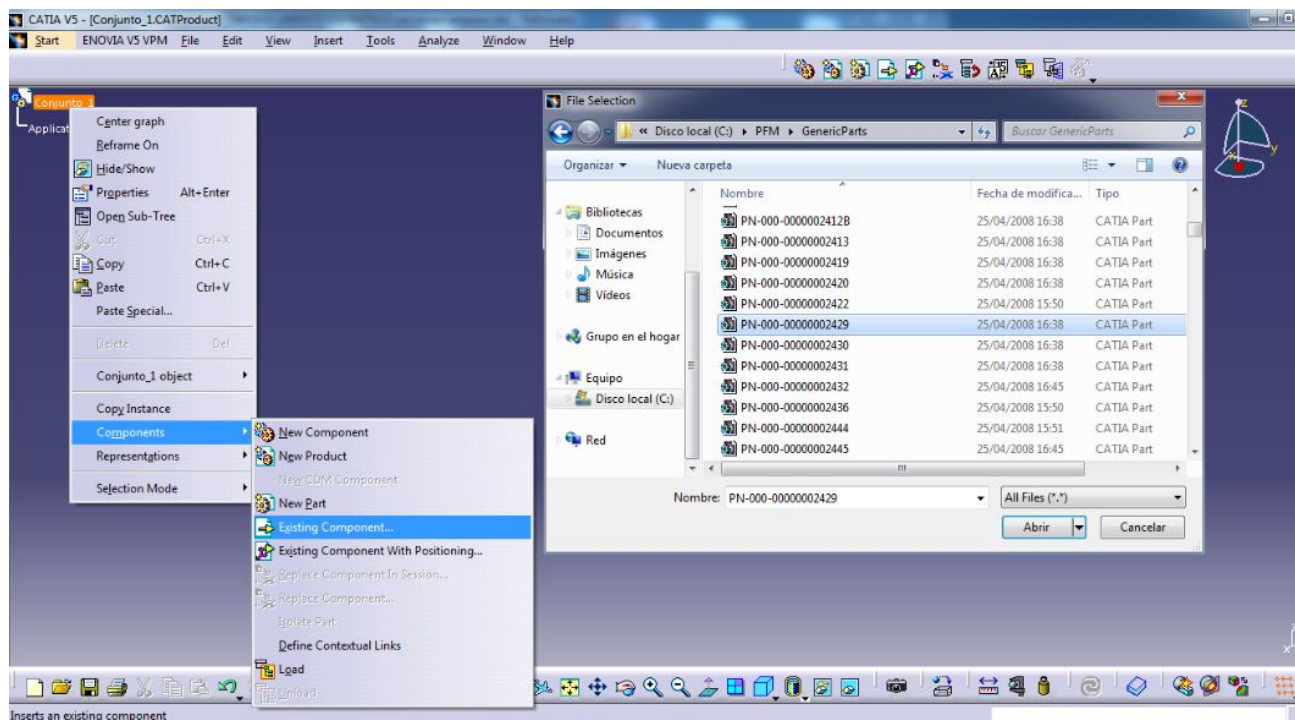


Figura C.4: Insertar un componente

5. El primer componente del conjunto se fija respecto al sistema de referencia.

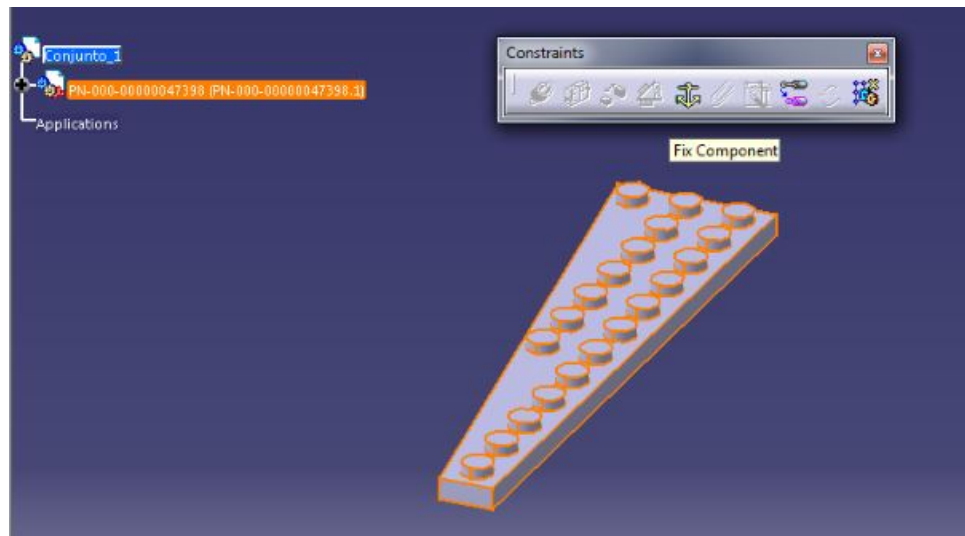


Figura C.5: Primer componente

6. Posibles restricciones al resto de componentes: coincidencia, contacto, distancia o angular.

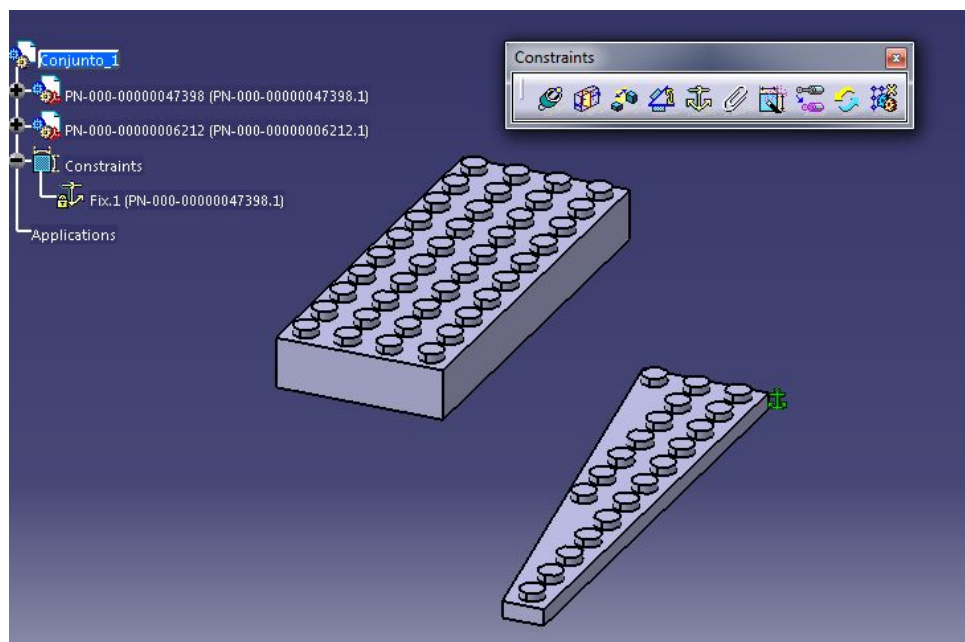


Figura C.6: Tipos de restricciones

A lo largo del ensamblado del producto se han tenido que diseñar algunos componentes inexistentes en la librería. Para ello se ha empleado el módulo *Part Design*, Figuras C.7 y C.8.

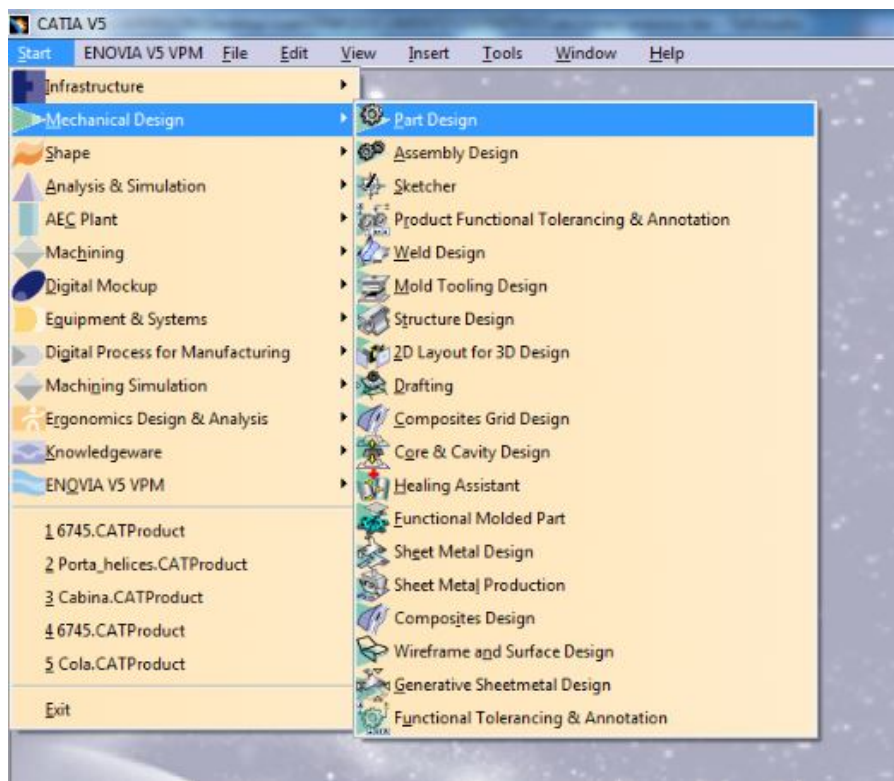


Figura C.7: Módulo Part Design

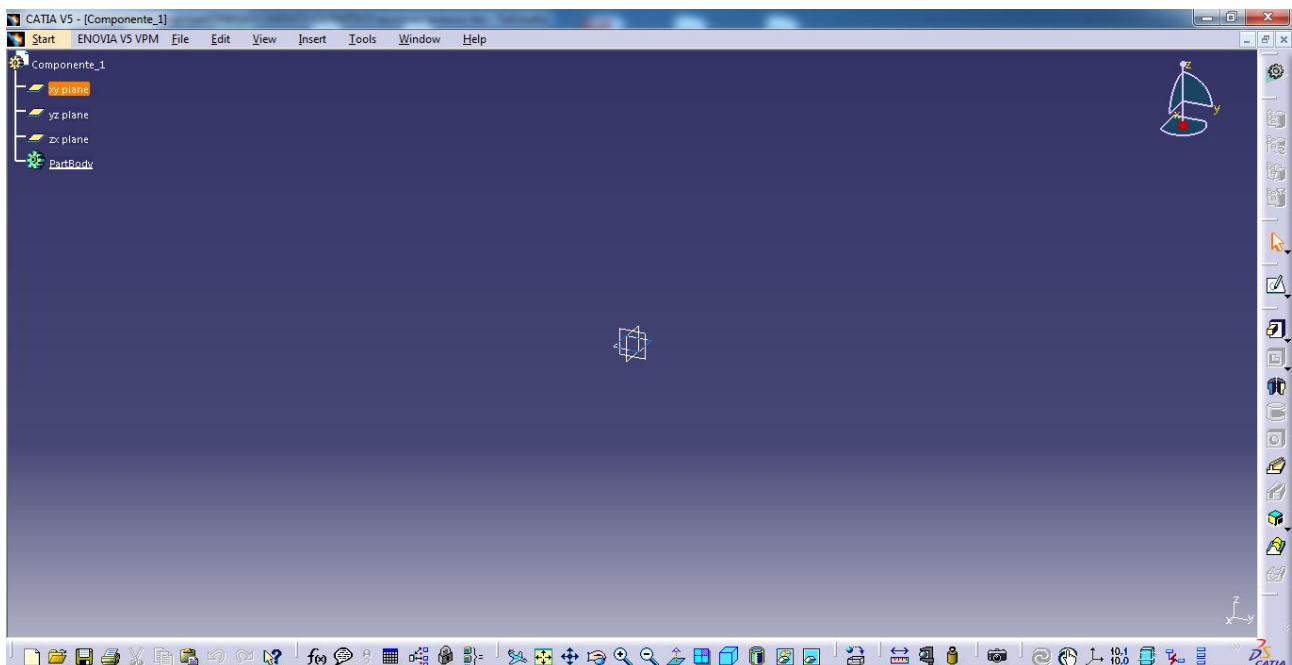


Figura C.8: Entorno Part Design

Algunas de las piezas desarrolladas se muestran a continuación.

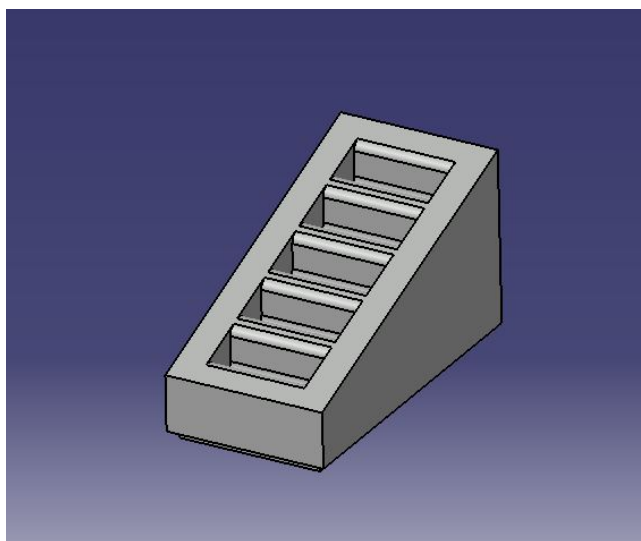


Figura C.9: Ejemplo de pieza diseñada

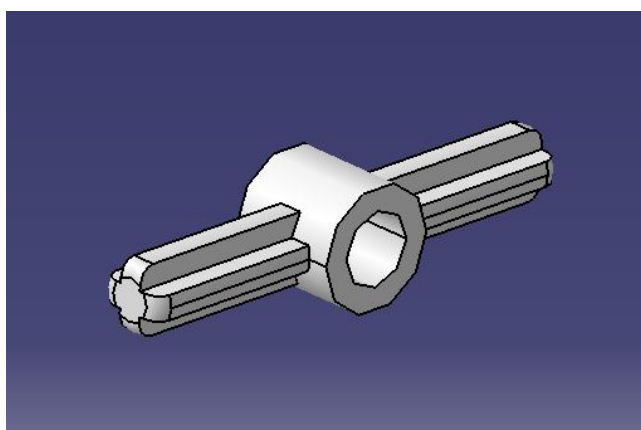


Figura C.10: Ejemplo de pieza diseñada

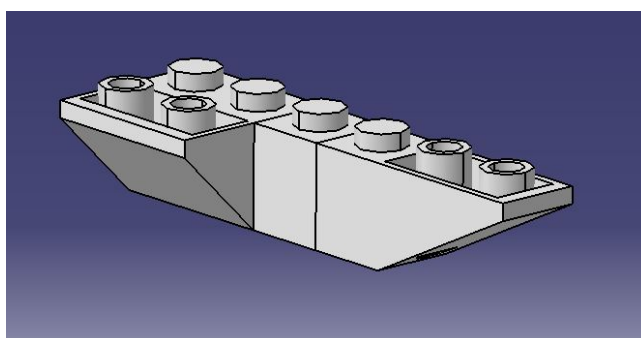


Figura C.11: Ejemplo de pieza diseñada

Bibliografía

- [1] http://lego.brickinstructions.com/en/lego_instructions/set/6745/rb (Instrucciones del programa de LEGO 6745). Obtenido el 04/04/2016.
- [2] Dassault Systemes User Assistance.
- [3] Producción Aeroespacial, diapositivas de clase. Jesús Racero Moreno, 2016.
- [4] Trabajo fin de máster. Análisis, diseño e implantación de simulación de procesos de ensamblado. Diego Moreno Álvarez, 2015.
- [5] PLM, Gestión del ciclo de vida del producto. Xavier Calvo Vergés, 2010.
- [6] <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/ingenieria-concurrente/> Ingeniería Secuencial y concurrente. Obtenido el 08/08/2016.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_mockup. Obtenido el 03/10/2016.
- [8] Success Factors for Digital Mock-ups (DMU) in complex Aerospace Product Development. Walter Richard Dolezal, 2007.
- [9] Gateway to the 3DEXPERIENCE Platform Course.
- [10] Delmia Manufactured Item Definition Course.
- [11] Delmia Manufacturing Process Planning Course.
- [12] Delmia Manufacturing Equipment Allocation Course.
- [13] Delmia Manufacturing Assembly Evaluation Course.